REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U N I V E R S I T E M E N T O U R I . C O N S T A N T I N E

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE L' AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'Ordre…….
N° de Série…….

MEMOIRE DE MAGISTER

OPTION : ARCHITECTURE

THEME

Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les edifices publics

Présenté par :

M^r^ BENLATRECHE Toufik

Sous la direction du :

Dr. Saffidine - Djamila

Devant le jury d'examen : **Date de soutenance le:** ……2006

Président :	Professeur	Université de Constantine
Examinateur :	Maître de Conférences	Université de Constantine
Examinateur :	Maître de Conférences	Université de Constantine
Rapporteur :	Maître de Conférences	Université de Constantine

Année Universitaire 2005-2006

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,
A ma mère qui ne cesse de m'encourager tous les jours.
A mon père.
A ma femme qui me soutient dans les moments rudes.
A mes deux enfants Rami et Yousra .
A ma belle famille

Remerciements

Avant de commencer la présentation le travail de ce mémoire. Et en tout premier lieu je tiens à remercier très chaleureusement Mme Saffiddine Djamila, qui en tant que directrice de ce mémoire a admirablement suivi et encadré ce travail. Elle a su me donner confiance dans les moments difficiles. Je lui en suis sincèrement très reconnaissant.

Je tiens à remercier Mme Bourbia Fatiha- Meghezzi pour sa disponibilité durant la formation, pour sa rigueur et sa sagesse, je lui doit tout la reconaissance.

Je tiens, dans cet avant propos, à remercier tous les enseignants de la post graduation option Bioclimatique Année 2003-2004

Mes plus grands remerciements vont à ma petite famille, qui a supporté mes humeurs, mes absences, et partagé les moments d'incertitude que tout chercheur a dû connaître. Egalement à mes chers parents qui ont tout fait pour que je puisse atteindre à soutenir un Magister en architecture. Mes remerciements également à mon beau frère qui m'a accueilli durant mon séjour en France et au tout début de mon aventure à Nantes .

Il m'est agréable de remercier Mr T.Sahnoune pour avoir accepté de présider le jury.

Je souhaite remercier Mme Bourbia F et Debache. S pour avoir accepté d'examiner ce travail de thèse et me donner leurs analyses sur le travail que j'ai été amené à effectuer. Leurs avis seront importants à mes yeux, je tiens à leur rendre hommage.

Mes remerciements également à Dominique Groleau L'inventeur du logiciel Solene qui m'a facilité l'acquisition du logiciel et pour la durée de formation à Nantes qui a été d'un grand secours dans les développements de simulations numériques.

Je remercie également la famille Derrahi pour son accueil à Marseille, et à toutes les personnes qui m'ont permis d'accomplir cet exercice délicat et parfois douloureux.

Table des matières

Introduction

1 .Introduction …… 01
2. Problématique…….. 03
3 .Hypothèses…….. 05
4.Objectifs de la recherche……. 05
5 .Méthodologie de la recherche…… 06
6. Organigramme ……. 08

Chapitre 01 : Aspect climatique et micro-climatique

1.1 Introduction…… 10
1.2 L e climat …… 10
1.3 La climatologie…… …… 11
1.4 Les éléments du climat ……... 12
1.5 Classification et limites climatiques…… 12
1.5.1-Classification biogéographique …… 12
1.5.2-Classification géo-climatique …… 13
1.6 Le climat en Algérie …….. 14
1.7- Le climat à Constantine …… 15
1.7.1-Situation géographique et relief……. 15
1.7.2- Interprétation des données climatiques ……. 15
1.7.3 -Indice d'aridité…… 16
1.8-L'ensoleillement …….. 17
1.8.1- Introduction…….. 17
1.8.2-L'ensoleillement en Algérie …… 18
1.8.3-L'ensoleillement à Constantine …… 19
1.8.3.1-zone de surchauffe ……..…… 19
1.8.3.2-La nébulosité…… 22
1.9- Urbanisme et échelles climatiques……..…… 24
1.10- Types de microclimats …… 24
1.10.1 influence de l'eau …… 24
1.10.2 Influence de la végétation ……..…… 25
1.10.3 Influence d'un site urbanisé …… 25
1.10.4 Influence de la topographie …… ……. 26
11-Le climat et l'urbanisme …… 27
11.1-Spécificité du climat urbain…… 27
12-Microclimat de Constantine …… 29
13- Ilot de chaleur urbain…….. 30
13.2-L'énergie anthropique Qa……. 32
14- Conclusion…… 34

Chapitre 02:Le confort thermique dans les espaces en extérieurs et la notions de gênes

-2.1 introduction ……. 35
-2.2 Confort thermique …… 35
-2.3 - Le confort thermique en extérieur …….. 36
-2.4-Les éléments du confort ……. 37
2.4.1- les éléments liés a l'individu…….. 37
2.4.1.1- Le vêtements…… 37
2.4.1.2. Le métabolisme ……... 39
2. 4.2 – Facteurs liés à l'environnement …… 40
2.4.2.1 - Le rayonnement ……. 40
2.4.2.2 La convection…….. 42
2.4.2.3 La conduction …… 42
2.4.3 - Subjectivité du confort thermique……... 43
2.5 –Equilibre des échanges entre l'homme et l'environnement ……. 44
2.6- Limite de la notion de confort en extérieur …….. 45
2.7-Le inconforts locaux …… 46
2.7.1-Asymétrie de rayonnement……. 46
2.7.2-Tempéature du sol…… 47
2.7.1.3-Gradient vertical de température …… 47
2.7.1.4- Courant d'air…….. 47
2.8 -Evaluation du confort thermique en extérieur……. 48
2.8.1-Le taux de transpiration …… 48
2.8.2 -Le PMV et le PMV extensible……. 50
2.8.3- La température radiante en extérieur……. 51
2.8.4- L'indice DISC …… 51
2.9- Conclusion……. 52

Chapitre 03 :L'ensoleillement et solutions Architecturales et urbaines

3.1-Introduction…….. 53
3.2-La radiation solaire…….…… 53
3.3 -Géométrie solaire et radiation……. 54
3.4- Implication de l'ensoleillement dans l'environnement construit ……. 56
3.4.1Contrôle de l'ensoleillement à l'échelle urbaine …… 57
3.4.1.1Les effets thermiques dan les espaces découverts……. 57
3.4.1.2Les espaces isolés (sans obstacles)…….. 58
3.4.1.3-Effet de dièdre ……. 58
3.4.1.4-Effet canyon…… 59
3.4.1.5-Espace couvert ……. 61
3.4.2-L'ensoleillement et solutions urbaines…….. 62
3.4.3-la forme et la radiation solaire ……. 63
3.4.1- Dispositifs de contrôle de l'ensoleillement et solutions…… 66
Architecturales
3.5 Les caractéristiques des surfaces……. 66

3.5.1- L'absorption …….. 66
3.5.2 -La réflexion…… 67
3.5.3-L'éméssivité…… 67
3.6- Conclusion…….. 68

Chapitre 04 : Les cours concepts et typologies

4.1- Introduction…… 69
4.2 - La cour et le patio concepts et critères…… 70
4.3- La vocation spatiale de la cour …….. 71
4.4- La cour et aspect de l'espace…… 75
4.5 - Les différentes fonctions et avantages de la cour …… 76
4.5.1 -Contrôle de la lumière du jour…… 76
4.5.2-La cour et la qualité de vie…… 77
4.5.3- La cour espace de convivialité et d'esthétique…… 78
4.6 –Typologie des cours dans les édifices publics…… 78
4.6.1- Cour et forme géométrique …… 80
4.6.1.1-Forme circulaire……..…… 81
4.6.1.2 cour pentagonale…… 81
4.6.1.3 Cour trapézoïdale…….. 81
4.6.2 -Cour et parois Verticales…….. 82
4.6.2.1-Cour avec galeries entourantes…….. 82
4 .6.2.2-cour avec parois homogènes…….. 82
4.6.3 -Cour et végétation…… 83
4.6.3.1-Cour entièrement couverte par la végétation…… 83
4.6.3.2- cour avec rangée d'arbres …… 84
4.6.4 -Cour avec Eau…… 85
4.6.4.1 -Cour avec bassin d'eau…… 85
4.6.5 Cour et types de sol…… 85
4.6.5.1-Cour vide sol minéral…….. 85
4.6.5.2 Cour avec sol couvert d'un pelouse…… 86
4.7-Classement typologique des édifices à cour à Constantine…… 86
4.8- Conclusion ……..... 92

Chapitre 05 :Comportement physique et géométrique de la cour

5.1- Introduction…… 94
5.2-Implication de l'ensoleillement dans la cour…….. 94
5.3– Echanges thermo-radiatifs …….. 95
5.3.1–Echanges entre parois l'été …… 97
5.3.2 -Echanges au niveau du sol…… 98
5.3.3 –Echanges par rayonnement nocturne……... 101
5.4- Comportement de la cour l'hiver…… 101
5.5 -Comportement géométrique de la cour…… 104
5.5.1- proportions……... 104
5.5.1.1 -Cour haute…… 105
5.5.1.2-Cour basse …… 105

5.6 - Effet de l'orientation…….. 106
5.7 – Effet de la taille……. 108
5.8 - La cour et l'éclairage naturel …….. 112
5.9- Comportement physique de la cour…….. 112
5.10-Les éléments naturels…….. 112
5.10.1–Impact de la végétation…….. 113
5.10.1.1- Température de surface des végétaux ……... 115
5.10.1.2-Impact de la végétation sur les températures d'air ……
et de surface …… 117
5.10.1.3 -Cas de la pelouse……..…. 118
5.10.2-Impact de l'eau…… 119
5.10.2.1.Introduction …….. 119
5.10.2.2 – cas d'un bassin d'eau……. 121
5.10.2.3 –Cas d'une source ponctuelle d'eau « Fontaine »…..…. 122
5.10.2.4- Effet des jets d'eau ……. 122
5.10.3 – impact de l'enveloppe……123
5.10.3.1 - La forme…….. 123
5.10.4– Les matériaux de construction…… 124
5.10.4.1- Introduction…….. 124
5.10.4.2 - Parois verticales…… 124
5.10.4.3 - Parois horizontales…… …. 125
- 5.10.4.4 - Effet de la couleur…… ……...130
5.11 –Conclusion ……127

Chapitre 06 : Principe de modélisation des effets thermo-radiatifs

6.1- Introduction …… 129
6.2 –Choix du logiciel …….. 129
6.2.1- Le modèle thermo-radiatif « Solene» …… 129
6.3 - Définition des principes de simulation…… 131
6.3.1- Etapes préalables aux calculs solaires…… 131
6.3.2-Paramètres en entrée…….. 132
6.4- Modélisation de la géométrie « masque »…….. 132
6.5- Calcul des flux solaires directs et diffus incidents…… 132
6.5.1- Flux solaires directs…… 132
6.5.2- Flux solaires diffus…….. 133
6.6- Flux échangés entre surfaces (facteur de forme)…… 135
6.7- Modélisation géométrique des arbres…….. 137
6.7.1- Transmission solaire à travers la couronne végétale…….. 138
6.8- Résumé des différentes étapes de calcul…… 139
6.9- Simulation du confort thermique extérieur…… 144
6.9.1- Modélisation géométrique du « bonhomme confort »…… 144
6.9.2- Les paramètres en entrée pour la simulation…….. 145
6.10. Les indices de confort en extérieur dans Solene…….. 145
6.11 – Conclusion…….. 146

Chapitre 07 :Simulations et caractérisation microclimatique

7.1- Introduction …… 148
7.2- Dimensions spatiales des géométries à étudier…… 149
7.3- Protocole de la simulation…… 150
7.4- Effet de l'orientation…… 153
7.4.1- Bilan d'ensoleillement …….. 153
7.4.2 simulation des flux solaires absorbes et températures de surface….. 160
7.5 -Effet de la hauteur……... 170
7.6- Effet de la forme géométrique……... 172
7.5.1Effet de l'ouverture de la cour ……... 179
7.6 -Effet de la taille…… 183
7.7 -Effet de la végétation…….. 187
7.7.1 – Effet des arbres opaques…… 187
7.6.2-Effet de la transmission des arbres…… 191
7.8- Evaluation du confort thermique……... 193
7.8.1-Analyse des conditions de confort…… 193
7.8.2 Les indices utilisés dans Solene……... 194
7.9 – Conclusion …… 197
Recommandations et conclusions générales …… 199
Références bibliographiques…… ……... 206
Annexe01…… 213
Annexe02…… 216
Annexe03…… 217
Annexe04…… 218
Annexe05…… 221
Annexe06…… 222

Introduction

A l'instar des autres êtres vivants, l'homme a toujours tenté de s'intégrer à son milieu. En effet l'écologie animale et végétale, plus tard l'écologie humaine ont démontré que les rapports que les êtres vivants entretiennent entre eux et avec leurs environnements sont importants, pour développer le milieu dans lequel ils vivent. Contrairement à certaines espèces, le climat est un des facteurs de notre environnement que l'homme ne pouvait ignorer, car il n'a pas les moyens physiologiques suffisants pour s'adapter. Seulement, l'homme est doté d'une capacité d'innover, d'adapter l'environnement à ses besoins, c'est à dire se procurer des abris et modifier les conditions qui l'entourent. Quand l'homme ne peut plus se défendre physiologiquement contre les aléas du climat, la construction est sa seule défense.

Toute construction qui s'inscrit dans un environnement avec lequel elle interagit, entretient un ensemble plus ou moins harmonieux de relations. La prise en compte du climat se place au cœur de ce dialogue entre l'architecture et son environnement dans un souci de création d'espaces de vie qui évoluent au fil des heures.

L'architecture bioclimatique concrétise cette volonté d'accorder une juste place au climat, parmi les dimensions fondamentales de l'architecture d'une manière générale. Les conditions climatiques d'un lieu se scindent en contraintes dont on désire se protéger et en avantages qu'on désire exploiter. Les rigueurs du climat ont poussé l'homme à rechercher des lieux pour s'abriter. Ces abris ont eu toujours la fonction ; sous toute latitude ; de protéger l'homme contre les agressions des facteurs climatiques, en exploitant les opportunités fournies par le site et par les matériaux. Jadis l'adaptation des constructions aux facteurs climatiques s'est faite spontanément, et depuis des siècles on constate des solutions pratiques vis à vis du climat à travers les époques et les civilisations. En fait la maîtrise du climat et la recherche de solutions spécifiques et adaptées remontent à l'époque grecque et romaine. Dans ce sens Barneaud(1) affirme qu'ils étaient les premiers théoriciens de l'urbanisme qui s'intéressaient particulièrement au facteurs vent pour le choix des sites d'implantation et la protection des villes.

.

---

1 Barneaud G et al, 1974,p40

L'intégration du facteur climatique dans la conception urbaine et architecturale n'est pas nouvelle « La démarche bioclimatique que l'on considère aujourd'hui comme une nouveauté n'est en fait que le prolongement de certains savoir-faire que se transmettait jadis des« non-architectes » (2). Il a été démontré dans de maints ouvrages que dans l'architecture vernaculaire le facteur climatique a été toujours considéré comme majeur et déterminant de toute œuvre architecturale (Givoni B , 1980 ; Konya A, 1980 ; Guyot A, 1979), « il n'y a pas de plus admis que l'influence du climat sur l'architecture, toute architecture traditionnelle l'a pris en compte, et en a trouvé ses propres solutions » (3)

Par ailleurs cette ingéniosité populaire qui à longtemps produit des solutions climatiques performantes, doit cependant ne pas oublier que presque partout les cultures traditionnelles avaient réussi à résoudre les principaux problèmes de climatisation et de confort en intégrant tous les paramètres environnementaux et climatiques sans faire recours aux technologies chères . L'innovation au contraire a souvent été nuisible, des solutions climatiques performantes n'ont pas pu résistées sous l'influence de la modernité contemporaine qui a confié à la technologie le soin de créer un micro-climat artificiel qui a affecté le bien être climatique de l'homme, « Les moyens ont fait oublier la fin et l'homme à perdu ses capacités d'autorégulation et d'adaptation » (4) . Cette prise de conscience pour une conception à bas profil énergétique, à été soutenue par la crise énergétique des années 70, pour voir enfin les concepteurs prêter une grande attention aux facteurs climatiques, et reconnus comme partie intégrante dans le processus de la conception architecturale. D'un autre coté cette perspective restrictive a encouragé les concepteurs à trouver des solutions nouvelles ou plusieurs études ont essayé de porter leurs contributions sur l'effet du climat dans les espaces intérieurs. Cependant très peu d'études se sont orientées vers les espaces extérieurs, ou les critères d'ordre climatique (orientation, forme, dimension des voies, espacement des volumes etc.) pouvant contribuer au confort thermique, ont totalement été négligés.

Cette non considération du paramètre environnemental et climatique dans la conception

---

2 Izard J L , Guyot A ; 1979 p9

3 Suchultz N ,1985, p81

4 Los S, 1980 p478

des espaces ouverts ou extérieurs permet de juger l'environnement extérieur immédiat et proche souvent comme une source d'inconfort ou espace non praticable « Il y a autant de microclimats qu'il y a de configuration architecturale, c'est ce qui explique la difficulté de mettre en évidence les éléments climatiques caractéristiques et reproductibles pour un type d'espace donné et par conséquent le faible nombre des études globales sur le sujet » (5)

Problématique

- Sous nos latitudes, la radiation solaire présente la plus importante caractéristique ayant une influence sur la conception des espaces architecturales et urbaines, le rayonnement direct est intense il varie entre 5000et 6000 Wh /m²' durant l'été (M Capderou 1985,) sur une surface horizontale isolée et sans la contribution d'aucun masques solaires*, le heures d'ensoleillement arrivent jusqu'à 16 heures . Devant ces particularités la pratique de l'espace extérieur ne sera possible, que si l'ambiance thermique extérieure est proche de l'ambiance confortable de l'homme. Cependant dans le cas ou cette ambiance est différente de la zone de confort l'opposition se crée. Le recours à des espaces filtrants les sollicitations climatiques et protégeant partiellement les usagers sans pour autant les isoler des conditions climatiques du site est indispensable .

La cour est un exemple distinctif de cette classe d'espace. C'est sur cet espace que nous focalisons notre étude

Il y a deux raisons principales qui nous ont persuadés de travailler sur ce type d'espace :

La raison technique c'est que naturellement la cour a été choisie comme thème d'étude car la cour comme dispositif architectural, est déjà à l'origine une forme qui se protége de façon autonome du soleil en créant un ombrage important, elle possède au départ un fort potentiel formel de refroidissement passif.

---

5 Sacre 1983 p35

* Le masque solaire est toute obstacle susceptible de faire écran au rayonnement solaire il peut être minéral ou végétal.

-La raison architecturale la continuité et l'enracinement de la cour dans l'histoire de l'architecture, souvent justifiée par cette aptitude à la privacité et à l'introversion, mais en même temps permet de garder le rapport avec l'extérieur. Il y'a l'implication du contrôle climatique attribuée souvent à la cour qu'elle soit publique ou privée.

Généralement proposée par des architectes dans les édifices publics, la cour intérieure est souvent hors programme, espace compris entre les bâtiments. Un simple vide inscrit dans le bâtiment, à la manière d'un espace résiduel. En fait on recherche par cet espace ouvert entre des masses construites, à offrir une autre spatialité. Servant à la fois comme espace de transition de distribution. Outre ces raisons la fonction de la cour intérieure a été approchée en terme d'usage quotidien d'une part, d'autre part sur les impacts qu'elle produit sur les ambiances thermiques et solaires , ce qui permet à cette espace tampon de créer un véritable microcosme de vie.

Plusieurs études se sont intéressées à la cour intérieure en général dans les tissus anciens ou compacts, oū elle est introduite avec des proportions bien appropriées. Mais moins nombreuses sont les études qui se sont intéressées à la cour dans un contexte urbain contemporain, en général et surtout celles incorporées les édifices publics. Généralement introduite par des architectes dans une grande diversité d'édifices **:** Hôpitaux, hôtels, centres commerciaux, immeubles administratifs, campus universitaires, lycées, lieux de culte, etc.., oū elle prend parfois de grandes dimensions et proportions. Elle sert à la fois d'espace de transition, de distribution aux différents locaux et de circulation principale. De cela plusieurs interrogations s'imposent.

- La conception de la cour dans ces édifices sus-cites, reposent-elle sur une étude réfléchie, et conçue en intégrant le facteur climatique dans le processus de conception, pour garantir le confort thermique des usagers ?
-La cour ne serait-elle pas une configuration formelle qui sera toujours en mesure de s'adapter et d'être adaptée pour garantir le confort microclimatique des usagers ?
-Quelles sont les conséquences microclimatiques des différentes configurations de la cour ?
-Quelles sont les effets engendrés par la présence des éléments naturels, et comment arriver à une bonne disposition de ces éléments naturels pour avoir les meilleurs effets thermiques et microclimatiques, en évitant la gêne causée par la

radiation solaire l'été, et profitant d'un apport maximal l'hiver ?

Dans notre travail, nous allons prendre en compte les paramètres ensoleillement et apports solaires qui sont en général sont à l'origine des microclimats. Pour développer cette idée trois hypothèses ont été élaborées.

Hypothèses

La première hypothèse est que cour en tant qu'espace extérieur dans un édifice public, en fonction sa forme, ses dimensions, son exposition induit des effets microclimatiques spécifiques.

- la deuxième hypothèse est que la cour de petites proportions pourrait présenter autant d'inconvénient qu'une cour de grande dimension vu le changement de saisons parce que, si l'hiver le rayonnement solaire est nécessaire pour contribuer à une plus grande sensation de confort thermique et assurer un éclairage naturel suffisant, il peut l'été, être préjudiciable et induire des surchauffes considérables qui se traduisent par un inconfort de l'usager

-La troisième hypothèse concerne l'affirmation, que de modestes inventions et ajustements spatiaux peuvent donner une amélioration du point vue microclimat, par exemple un choix judicieux d'implantation d'arbres peut constituer un masque végétal qui contribue au confort des usagers.

Objectifs de l'étude

La réponse à la problématique a pour but de comprendre la cour intérieure intégrée aux édifices publics dans un contexte contemporain, et d'évaluer l'ordre de grandeur des variations climatiques liées aux phénomènes thermo-radiatifs en fonction les caractéristiques formelle, spatiale, et physique de la cour (configuration géométrique, dimension, nature des matériaux, végétation).

Les flux solaires sont variables dans le temps et influent sensiblement sur l'ambiance microclimatique dans la cour, il convient alors de distinguer entre deux saisons pendant lesquelles le confort est différent, donc savoir comment ces réponses participent à un microclimat favorable pour l'usager. Pour atteindre cet objectif et afin de pouvoir vérifier notre hypothèse il est nécessaire d'évaluer par le moyen de la simulation numérique

les points suivants :

-Evaluer les apports solaires sur les diverses surfaces (horizontales et verticales) de la cour avec différentes configurations et orientations et en fonction de la variation saisonnière.

-Montrer en quoi les variations saisonnières peuvent modifier le microclimat.

- La cour ayant un intérêt propre du point de vue de l'usage spécifique dans les édifices public, il est important d'établir de manière objective, les relations qu'entretiennent le climat et la perception du confort avec les facteurs d'usage. Il s'agit de vérifier comment la cour constitue un microclimat susceptible de contribuer au confort thermique extérieur.

-Evaluer l'effet de la végétation sur le confort de l'usager de la cour

Méthodologie

La recherche est fondamentale et s'articule autour de deux grandes parties regroupant respectivement cinq et deux chapitres. Elle est basée sur la simulation numérique et l'utilisation de logiciel permettant l'évaluation de l'effet de apports solaires dans la formulation du microclimat dans les cours intérieures des édifices publics.

La première partie :

Cette partie constituée de cinq chapitres est purement théorique, et englobe des données se basant essentiellement sur les différentes recherches bibliographiques se rapportant au thème. Cette compréhension théorique concerne une étude intensive sur l'interaction entre le dispositif cour, les facteurs climatiques et les échanges thermiques entre l'être humain et son environnement de cela le confort de l'usager.

-Le premier chapitre est consacré au climat et la microclimatologie urbaine. Dans ce chapitre nous rappelons les différents types de climat et ses échelles, puis une étude sera détaillée sur les spécificités du climat urbain.

-Le deuxième chapitre est consacré au confort thermique en espace extérieur. Plusieurs définitions de la notion de confort sont proposées soulignant la complexité du domaine abordé. Les différents paramètres intervenant dans l'établissement des

critères de confort sont présentés. Ils concernent à la fois les éléments relatifs à l'environnement et à l'individu qui font intervenir différents échanges thermiques quE nous détaillons. Enfin, différents indices de confort seront rappelés pour les situations de confort en espaces extérieurs.

- Le troisième chapitre aborde le phénomène d'ensoleillement, et l'effet de la radiation solaire sur les espaces extérieurs en général.
- Le quatrième chapitre s'intéresse au dispositif cour, son évolution historique ainsi que ses aspects architecturaux et morphologiques.
- Le cinquième chapitre est une étude détaillée du comportement thermique de la cour, à travers paramètres conceptuels qui affectent le comportement thermo-radiatif de la cour.

La deuxième partie :

Cette deuxième partie constitue le cœur de notre recherche, puisqu'elle va prendre en charge l'ensemble des simulations réalisées , l'importance de cette partie est dans le fait qu'elle permet de répondre aux différentes questions posées dans la problématique et vérifier les hypothèses. Elle consiste plus précisément à quantifier les effets révélés dans l'analyse précédente par le biais de la simulation numérique.

Cette deuxième partie est divisée en deux chapitres :

-Le premier chapitre est consacré à la préparation de l'environnement propice à la simulation, ainsi que la présentation des différentes étapes nécessaires à la réalisation de la simulation. Il s'agit de la modélisation des phénomènes thermo-radiatifs et la préparation des paramètres en entrée.

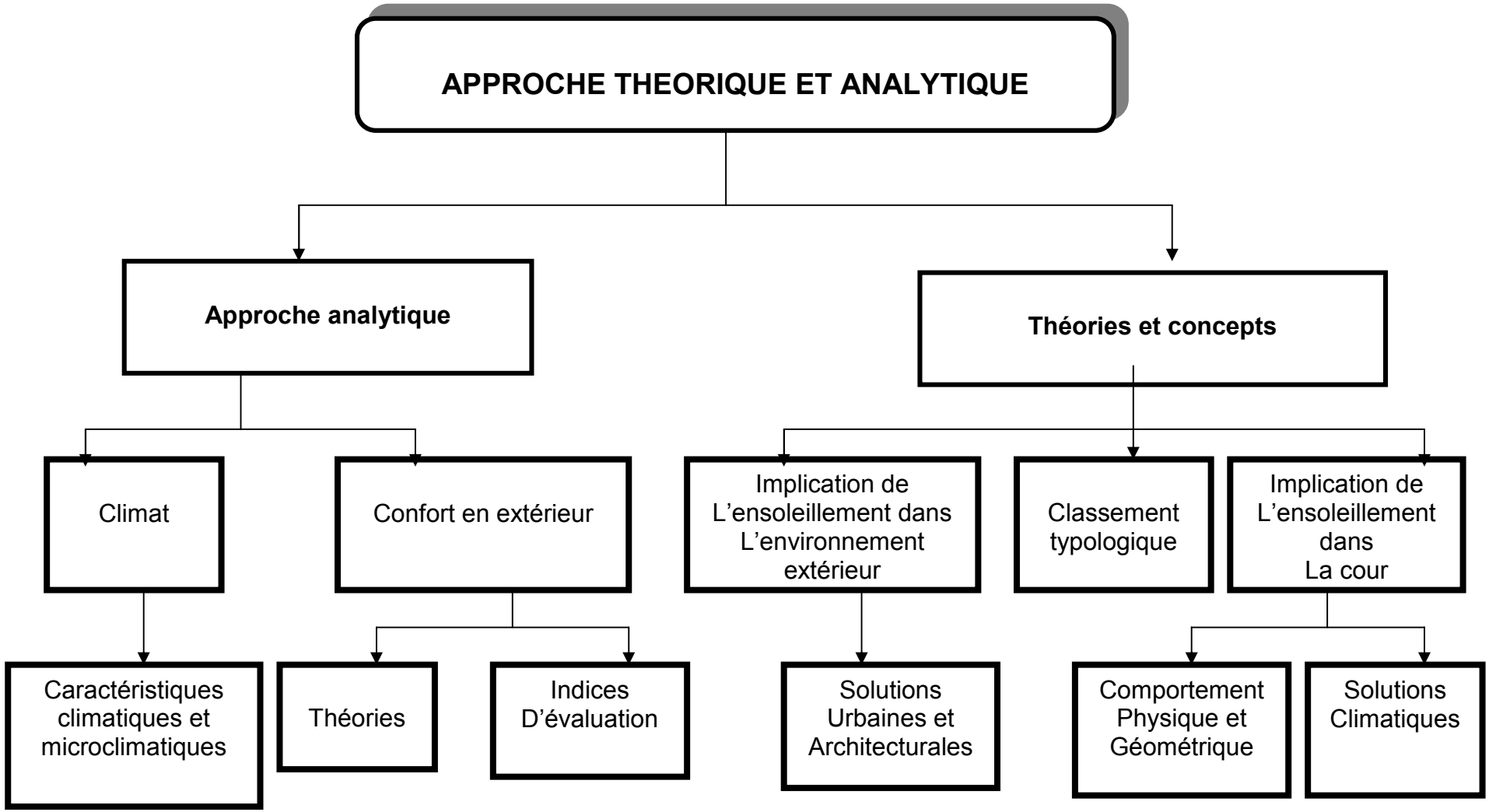
-Le deuxième chapitre englobe les simulations (à l'aide du logiciel Solene du CERMA (6)) qui permettent de valider nos interprétations et de faire des évaluations, et des déductions, celles ci, permettent à leur tour de proposer et porter des éventuelles améliorations du confort thermique au niveau de la cour.

Ce travail est terminé par l'interprétation de l'ensemble des résultats qui aboutira à des recommandions et enfin une conclusion générale synthétisant les différents résultas obtenus qui clôtura ce travail.

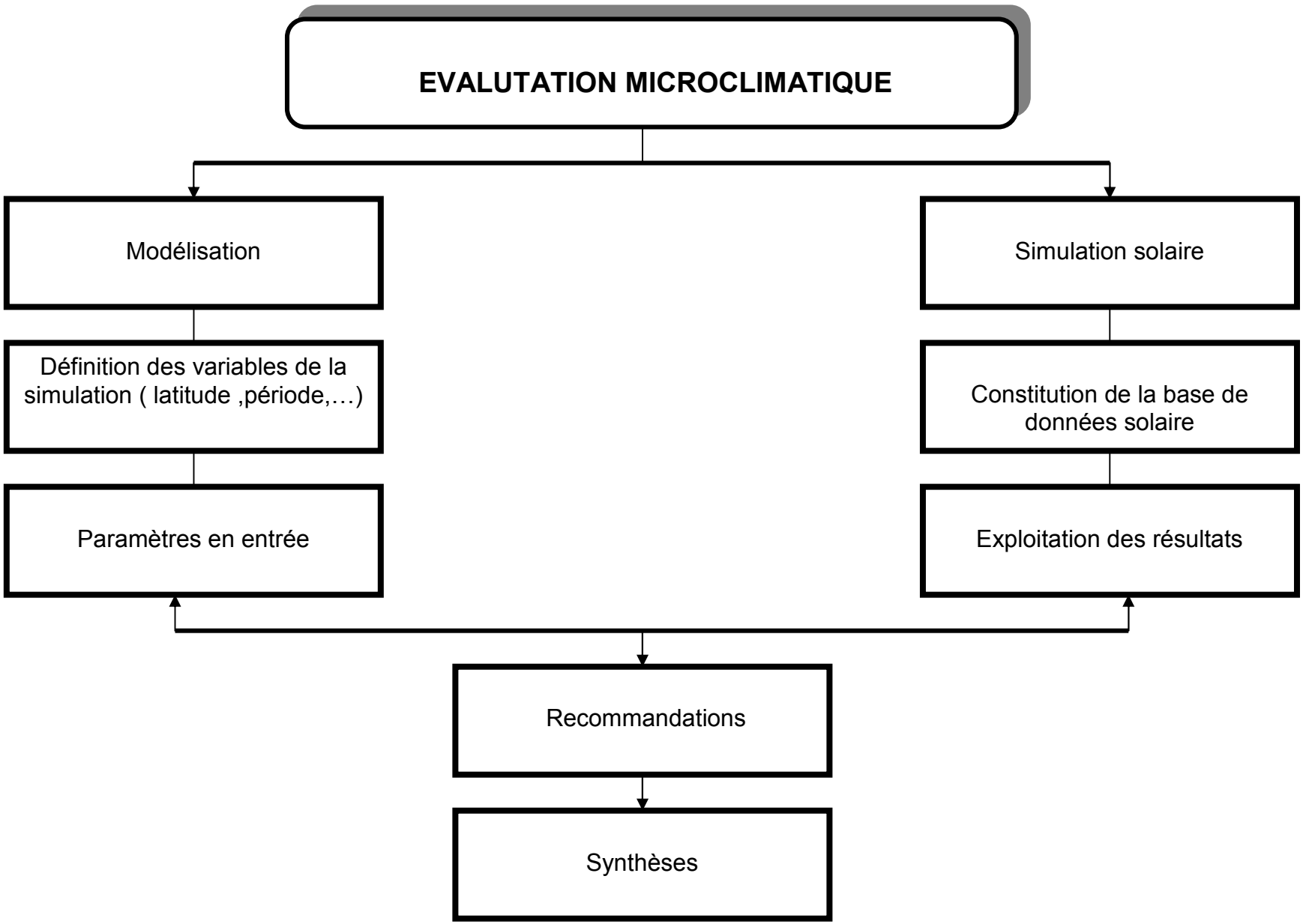
---

7 Centre de Recherche Méthodologique en Architecture (Nantes)

ORGANIGRAMME DE LA STRUCTURE DE LA THESE 1e PARTIE



ORGANIGRAMME DE LA STRUCTURE DE LA THESE 2eme PARTIE



1.1- Introduction

Dans le passé, l'étude du climat s'est limitée à l'étude des conditions de notre atmosphère terrestre, ainsi qu'à l'établissement et à la classification statistique des valeurs moyennes. Progressivement, elle est passée à l'examen des séquences caractéristiques du temps et de l'évolution des paramètres typiques. L'étape suivante a été le passage à l'étude du microclimat ainsi qu'à l'étude des répercussions physiologiques. Selon les pays et les régions, les facteurs climatiques desquels il a fallu se défendre sont : la pluie, la chaleur ou le froid, l'humidité excessive, l'ensoleillement et le vent. A ceux-ci il faut aujourd'hui ajouter les phénomènes climatiques liés à la pollution industrielle. La diversité des climats à travers le monde a dicté une richesse et une variété de solutions ; stratégies et concepts ; qui représentent un champ étendu du domaine de la recherche et de l'investigation, les plus remarquables sont les recherches dans la conception bioclimatique. Quant à l'interaction entre le climat et le milieu construit la diversité des échelles spatiales s'accompagne d'une diversité des échelles climatiques.

De ce fait une approche scientifique, qui cherche à analyser chaque fait climatique dans sa complexité, pour aboutir à des solutions de plus en plus adéquates, et dont le but est d'arriver à une conception où tous les éléments du climat sont pris en considération. Ce chapitre sera consacré au phénomène « climat » ses types, ainsi que les éléments qui le définissent, une partie sera consacrée à l'ensoleillement et principalement à l'ensoleillement dans la ville de Constantine, puis une autre va considérer le microclimat et ses spécificités. Cette dernière vise aussi à identifier ses composantes et ses causes.

.

1.2- Le climat

Les définitions du climat sont nombreuses, une définition plus large est donnée par l'encarta « l'ensemble des phénomènes météorologique qui se produisent au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ».(encarta 2003.)

Le climat désigne les conditions générales du temps et ce que l'on prévoit à cet égard. On peut envisager cette notion comme une condition locale ou l'appliquer à de plus vastes régions ou à la planète entière. « Le climat est le résultat de plusieurs années de

tous les phénomènes atmosphériques observés dans un endroit particulier »(**1)** Le climat d'un lieu dépend :

- De sa position en latitude
- De sa circulation atmosphérique générales
- Des caractéristiques de l'environnement et du site (relief, végétation, eau, ville etc.)

On peut distinguer un ensemble d'éléments et de facteurs climatiques rapportés en catégorie selon (2)

- Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température
- Facteurs hydrologiques : précipitations et hygrométrie
- Facteurs mécaniques : vents et enneigements.

En relation avec les concepts de l'urbanisme et l'architecture « Le climat est un des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains » (3)

1.3- La climatologie

La climatologie est la science qui étudie le climat, son histoire, mais aussi son futur probable. La climatologie est une science récente qui s'est fortement développée au cours des vingt dernières années. Elle nécessite une approche interdisciplinaire, qui rassemble des physiciens, mathématiciens, chimistes, informaticiens, géologues…etc. Ceux-ci unissent leurs efforts pour comprendre et modéliser les mécanismes qui régissent le climat de la terre et son atmosphère, en s'appuyant sur les observations du climat présent et la reconstitution des climats passés et de leur évolution. Elle part des données fournies par la météorologie, mais étudie les combinaisons des différents phénomènes caractérisant un état de l'atmosphère dans un cas spatial et temporel, elle s'efforce notamment de saisir leur évolution dans des cycles d'une décennie ainsi que des cycles de plus longues période qui peuvent atteindre de 50 à 100ans (4)

---

1 Sealey A ,1979 , p21

2 Estienne P ; Godard , A ,1970, p 76 à 115

3 Duplay , 1982, p52

4 www.atmosphére.mpg.de(consulté le12/06/2005)

1.4-Les éléments du climat

Les éléments du climat apparaissent en combinaison, il est difficile de déterminer leur degré d'importance .En plus de son aspect qualitatif , le climat présente un aspect quantitatif mais l'approche générale d'étude se base sur la sensation de confort .

Selon Konya A (**5)** les principaux éléments sont : la radiation solaire, la température de l'air , l'humidité, le vent et les précipitations . parmis ces éléments le vent, et la radiation solaire ont une grande influence sur la conception des espaces extérieurs et dont la cour fait partie ; objet de notre étude ; leur influence sur le confort de l'usager et très visible l'influence de ce dernier élément climatique , la radiation solaire va être détaillé dans les paragraphes suivants .

1.5-Classification et limites climatiques

La recherche de classer les climats en grandes catégories dans les quelles en regroupe les climats ayant des caractéristiques très voisines, celles ci varient en fonction des conditions locales.

Armés de principes divers et de méthodes encore plus variées, les chercheurs et les savants ont proposé des classifications intéressantes on peut classer sous deux grands types climatiques : biogéographiques, climatiques (6)

1.5.1-Classification biogéographique

La plus complété est la classification de Köppen (5) en tant que botaniste était de rendre compte des principaux groupes de végétation naturelle elle comprend cinq groupes principaux chacun etant lui même subdivisé en sous classes d'après Estienne P et al (7) .Cette classification est la plus ancienne, et la plus universellement reconnue .

-Climat tropical humide sans saison froide

-Climat tempéré humide à hiver modéré (le mois le plus froid à température moyenne supérieure à –3°C)

-Climat tempéré à hiver froid

---

5 Konya A ,1980 p 9 à13

6 Viers G,1968, p 84

7 Estienne P et al 1970, p206

-Climat désertique ou aride

-Climat sub-arctique (température du mois le plus chaud inférieur à +10°C)

-Climat polaire (Climat à gel permanent)

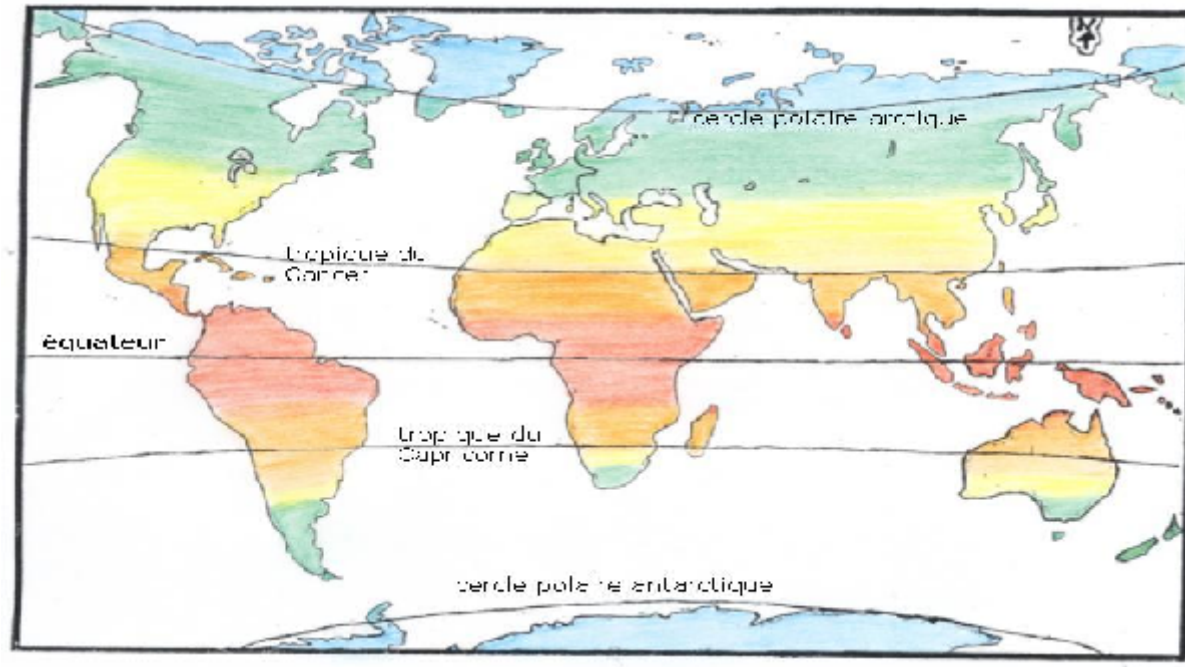


FIG.1.1- Zones climatiques dans le monde

Source :www.atmosphére.mpg.de

1.5.2-Classification géo-climatique

Alors que les biogéographiques définissent les régions climatiques par le biais de la végétation.

Les géographes ont cherché des milieux typiques , dans la définition desquels entrent tous les éléments, naturels du paysage : climat, végétation, sols, modelés etc. et les ont adopté comme base à leur classification .La plus connue des classifications et celle de Martonne E (8)

- Climats équatoriaux
- Climats tropicaux
- Climat subtropicaux

---

8 Viers G,1968, p 87

- Climats tempérés
- Climats désertiques chauds
- Climats désertiques froid
- Climats froids
- Climats arctique

Ces limites sont rarement d'une netteté absolue .Dans les régions pleines ou dans les plateaux on trouve généralement entre deux climats, une vaste zone de transition où les influences climatiques s'interpénètrent. D'ou ce désir de tourner la difficulté de classification en étudiant des combinaisons arithmétiques d'éléments climatiques, capables de fournir des seuils significatifs désignés par indices climatiques, le plus souvent par les aptitudes biologiques de ce climat **:** seuils extrêmes de sécheresse (seuil d'aridité), ce qui conduit généralement à des formules combinant températures et précipitations (**9)**

1.6-Le climat en Algérie

L'Algérie est un vaste pays elle est comprise entre 18°et 38° de latitude nord, et entre 9° de longitude ouest et 12° de longitude est, (le méridien international 0°Greenwich passant prés de la ville de Mostaganem).

En Algérie la première classification en zones climatiques à été faite par le CSTB en 1962 qui sert de base de calcul pour le dimensionnement de chauffage ou de climatisation. Une deuxième classification prenant en compte les données climatiques plus représentative de la période (1974 –1984) permet de définir avec plus de précision les zones climatiques de l'Algérie.. Cette vaste étendue territoriale correspond à une diversité de zones climatiques qui peuvent se classer en trois catégories (10)

-Le tell :climat tempéré humide de type méditerranéen

-Les hautes pleines :climat de type continental

-Le Sahara :climat aride et sec (Voir annexe I)

---

9 Estienne P et al ,1970, p199

10 Oueld H ,1993 ,p10-11 .

1.7- Le climat à Constantine

1.7.1-Situation géographique et relief

La ville de Constantine est située dans le nord-est de l'Algérie sur la latitude 36° 17' nord par rapport à l'équateur et la longitude de 6°37', par rapport Greenwich (11) et s'élève sur une altitude moyenne de 675 m par rapport au niveau de la mer, cette altitude varie d'un point à un autre elle est de 493 m à el_Menia le pont le plus bas elle peut arriver à 820 du coté de djebel ouahch et elle est à 602 m en plein centre de la ville(Source :station météorologique Mohamed Boudiaf)

Elle est située dans la dépression Est entre les chaînes montagneuses de l'atlas tellien et l'atlas saharien .Situé entre la mer est le Sahara son climat est influencé d'une part par la mer et d'autre part par le Sahara

1.7.2- Interprétation des données climatiques

L'interprétation des données climatiques de la ville de Constantine d'après le tableau des données des éléments du climat (voir annexe I) montre que la température moyenne annuelle est de 16°C .La température moyenne minimale est de 7.2°C en janvier tandis que la moyenne maximale est de 26°C pour le mois d'août, etant le mois le plus chaud

- Les températures augmentent d'une allure régulière jusqu'au mois d'août qui représente le mois le plus chaud .On peut distinguer deux périodes une période chaude et sèche qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, et une autre période , plus longue qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars, parfois on peut considéré le mois d'avril un mois confortable tandis que les deux mois avril et mai sont considéré confortable vu que la température moyenne est comprise entre 12 et 18°C .

Le vent est un paramètre instable, c'est le déplacement de l'air généré par la différence des pressions entre les masses d'air caractérise par sa direction, sa vitesse et sa fréquence.

---

11 Capderou M 1985 p 398 tome 2

Les vents qui prédominent Constantine sont de directions nord et nord-ouest avec des vitesses moyennes qui varient entre 2.2 e 2.9 m/s avec une moyenne annuelle de 2.4 m/s , ces vents sont froid et humides et soufflent pendant l'hiver .pour le sirocco, il provient du sud et sud est avec une fréquence de 03 jours par an (12) . Les précipitations à Constantine sont moyennes avec un taux maximal de 43,50 mm le mois de janvier jusqu'à un taux de 10,77 mm en juillet . Le nombre de jours d'enneigement peut arriver jusqu'à 10 jours par an , le nombre de jours de gelée peut arriver jusqu'à 30 jours répartis entre le mois d'octobre et jusqu'au mois d'avril.

D'après ces données ont peut dire que les précipitations restent moyennes pour participer à l'adoucissement du temps .

En conclusion le climat de Constantine se caractérise par un hiver froid et un écart de température diurne important .La période d'été elle se caractérise par un été chaud et sec où l'écart de température entre le jour et la nuit peut dépasser 15°C ,la moyenne journalière d'été peut arriver à35°C(source :station météorologique Mohamed Boudiaf).

1.7.3 -Indice d'aridité

D'après les données climatiques et après la méthode de détermination de l'indice d'aridité Δ et d'après l'indice de Matonne 10

Im = ∑ pm/ T moy + 10 p : précipitations annuelles en mm

T : température moyenne annuelle

= 12 p/ T moy + 10

= 518/ 15,9 + 10 = 19,90

10 < IM < 20

12 Estienne P, et al ,1970 ,p201

D'après ce résultat on peut dire que le climat de Constantine est un climat semi-aride . Dans ces milieux, le rayonnement solaire représente la plus importante caractéristique ayant une influence sur la conception urbaine et architecturale et pratiquement sur le confort de l'usager .

Le rayonnement solaire direct est intense , il est supérieur à 800 w/km² sur une surface horizontale, et il est en outre augmenté par les surfaces arides et des couleurs minérales vue le manque de la couverture végétale .D'après cette synthèse il est important de s'attarder sur l'ensoleillement ainsi que les phénomènes climatiques liés à ce dernier.

1.8- L'ensoleillement

1.8.1- Introduction

Le soleil est la seule grande source d'énergie thermique régissant le système climatique de la Terre. Comme la surface de la Terre est courbe, la quantité de rayonnement solaire incident n'est pas la même partout, les tropiques recevant le plus de chaleur et

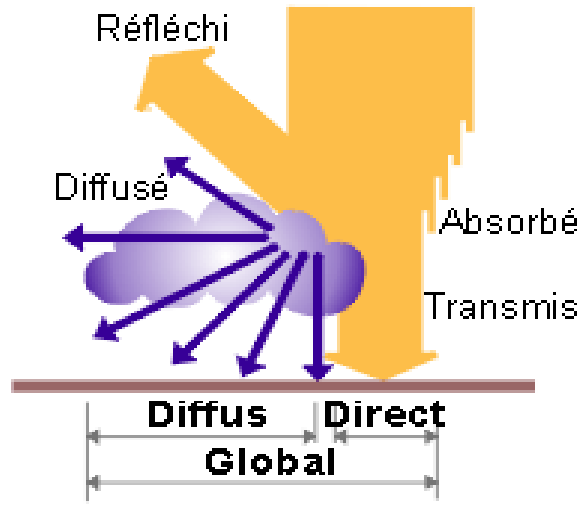


Fig1.2- Bilan radiatif terrestre

Source : Liébard A, 2002, p26

les régions polaires le moins. C'est cette différence de température entre les tropiques et les pôles qui induit les vents et les courants, lesquels redistribuent la chaleur et l'humidité autour de la planète. Si la quantité d'énergie émise par le soleil est constante, celle qui atteint le sol est variable, en fonction de divers paramètres. Le rayonnement solaire est le moteur thermique réchauffant la surface terrestre .Avant d'attende la terre, le rayonnement solaire doit traverser une masse gazeuse d'environ 8 kilomètres d'atmosphère. Ce parcours va se traduire par une diminution sensible du flux énergétique, due à des phénomènes de diffusion , diffraction , absorption et réfraction. La terre reçoit la radiation solaire, qui se compose de la radiation directe (celle qui provient directement du soleil), la radiation diffusées par les nuages (radiation diffuse) puis la radiation réfléchis quand elle rencontrent les objets donc le rayonnement total arrivant sur une surface peut se diviser en trois composants I = I Dir +Idif +I (13) L'importance du rayonnement solaire reçu à la surface du sol dépend de la spécificité de chaque région latitude du lieu , le relief (montagnes ,vallées, rivières, etc.)

1.8.2-L'ensoleillement en Algérie

Selon M. Hasni, « l'Algérie dispose d'un gisement solaire des plus élevés au monde » (14). En effet, on estime à plus de 2.000 heures par an la durée moyenne d'insolation sur l'ensemble du territoire national, la durée d'ensoleillement atteindre les 3.900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara. On évalue à 5 KWh l'énergie quotidienne reçue sur une surface horizontale de 1 m² sur la majeure partie du territoire national, soit une puissance d'environ 1.700 Kwh/m²/an dans le Nord du pays et 2.263 Kwh/m²/an dans les régions du Sud.(Source : Le quotidien d'Oran , 2004).

Le territoire algérien bénéficie dans sa majeur partie d'un ensoleillement exceptionnel. La durée moyenne d'ensoleillement est de 300 jours. L'énergie globale journalière (en moyenne annuelle) reçue par une superficie horizontale de 4.5 à 7.5 kWh/m²/j , soit l'équivalent de 1600 à 2700 j/m²/j

Pour une ville du sud ,Ouargla à titre d'exemple , le rayonnement global parvenant à

---

13 Givoni B ,1980, p202

14 Le quotidien d'Oran, 2004

une surface horizontale, aux heures les plus chaudes de la journée, apporte une énergie d'environ 6734 Wh/m² (15).

1.8.3-L'ensoleillement à Constantine

Sachant que Constantine est située sur une latitude de 36°17 nord , le rayonnement solaire est intense pour les mois d'été, les jours sont longs et clairs, l'intensité de la radiation solaire Globale peut dépasser les 7.5 Kwh /m² pendant le mois de juillet et août sur un plan horizontal. Les radiations solaires sont composées de directes est diffuses. Les rayons solaires directs sont la source la plus importante d'échauffement de l'air et des surfaces des espaces extérieurs . L'ensoleillement est considérable durant la dernière décennie il a atteint une moyenne de 300 heures durant les mois d'été. Constantine bénéficie d'un ensoleillement important à titre d'exemple la durée d'ensoleillement pour le mois de juillet 2002 et 2003 à dépasser les 300 heures (source : station météorologique Mohamed Boudiaf Constantine) voir fig.(1.3)fig.(1.4)et fig.(1.5)

1.8.3.1-zone de surchauffe

Par application de la méthode du tableau des isothermes la zone de surchauffe est inscrite dans la zone limitée par la courbe supérieure à 25°C, elle englobe, les mois de juin, juillet, août et septembre. La période la plus sollicitée et entre 12h00 et 16h00 , oū la température dépasse les 25°C, durant cette période le soleil etant haut, son intensité est maximale.

Par projection sur le diagramme solaire stéréographique correspondant a la latitude 36° pour le cas de la ville de Constantine. La lecture du diagramme solaire nous renseigne que l'été s'étend Du mois de juin à septembre ces périodes pour lesquelles l'utilisation des occultations sont recommandées voir fig.(1.6).Il est essentielle d'évoquer l'action des éléments d'aménagement sur le contrôle thermique. Ces éléments concernent aussi les éléments naturels spécifiques à la région qui peuvent être comme masque a l'ensoleillement pour les espaces intérieurs et extérieurs

---

15 Capdérou M, 1985

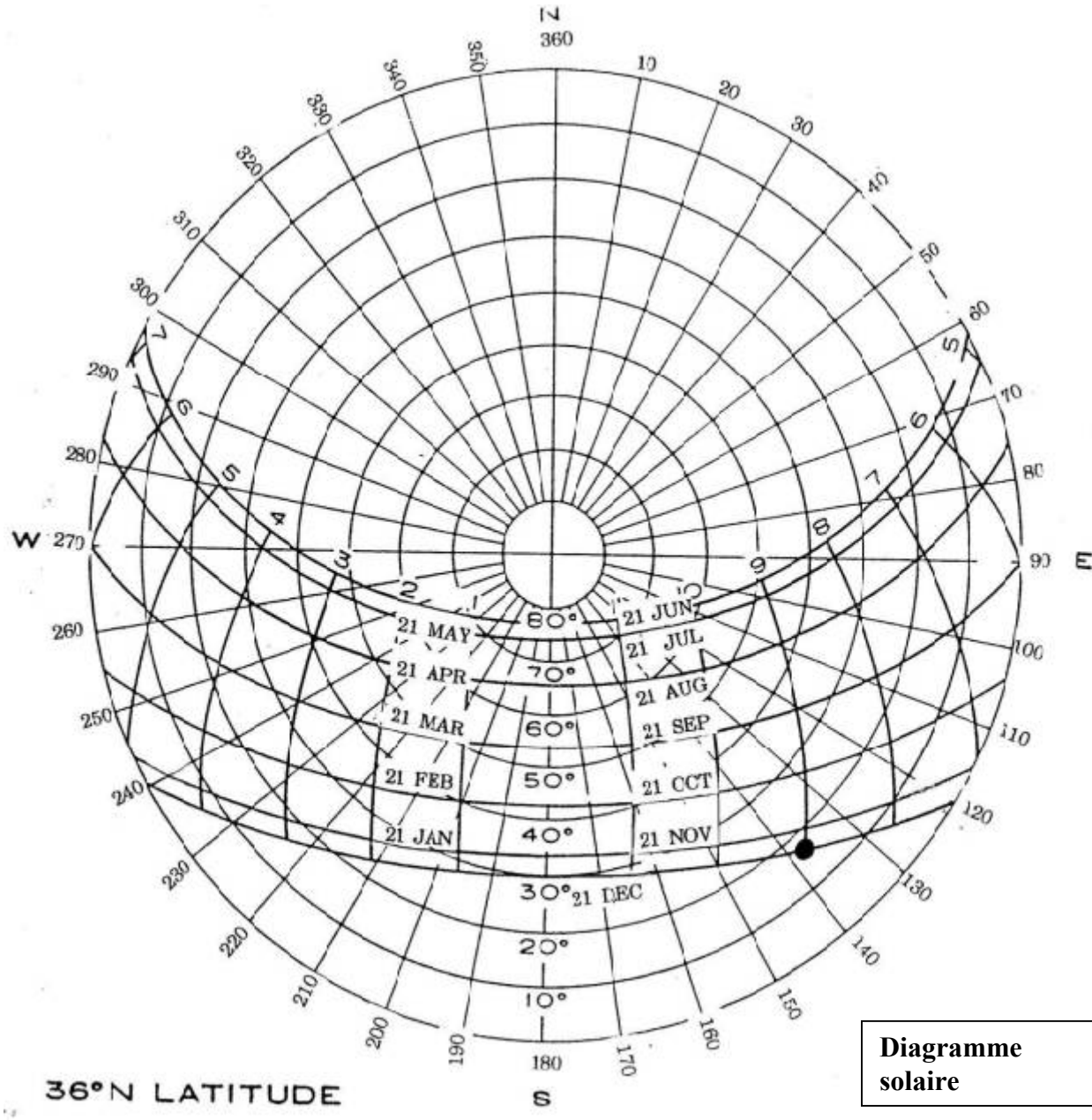
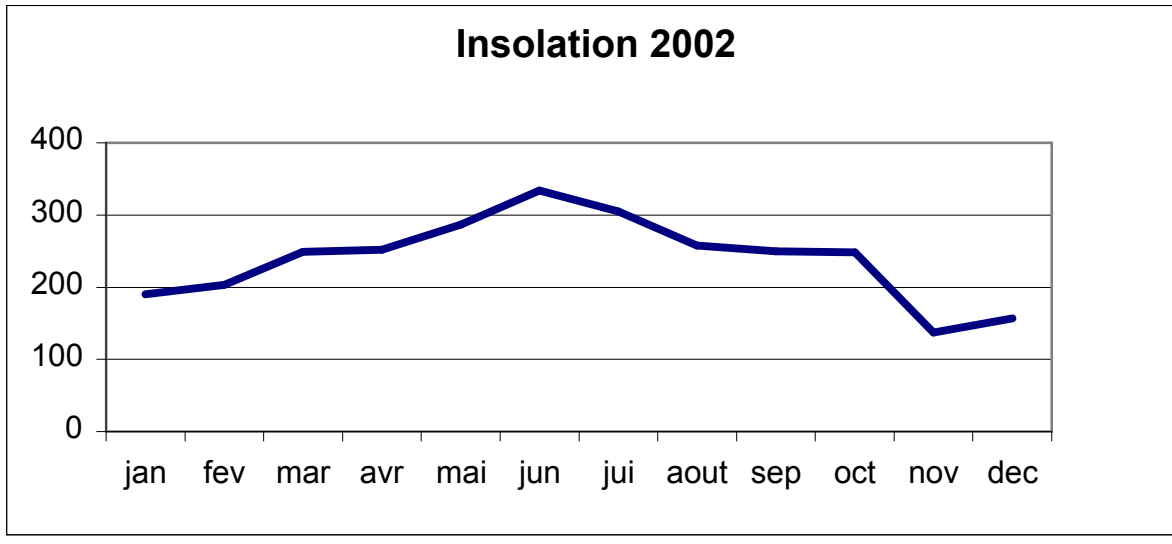
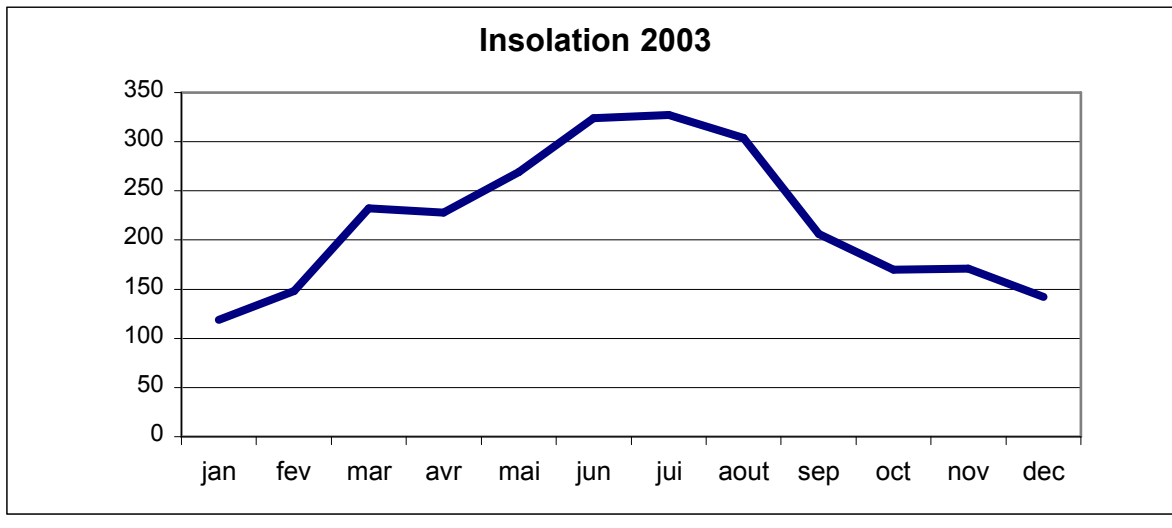


Diagramme solaire

Fig : 1.6 zone de surchauffe de la ville de Constantine

Source : www. Marseille .archi.fr





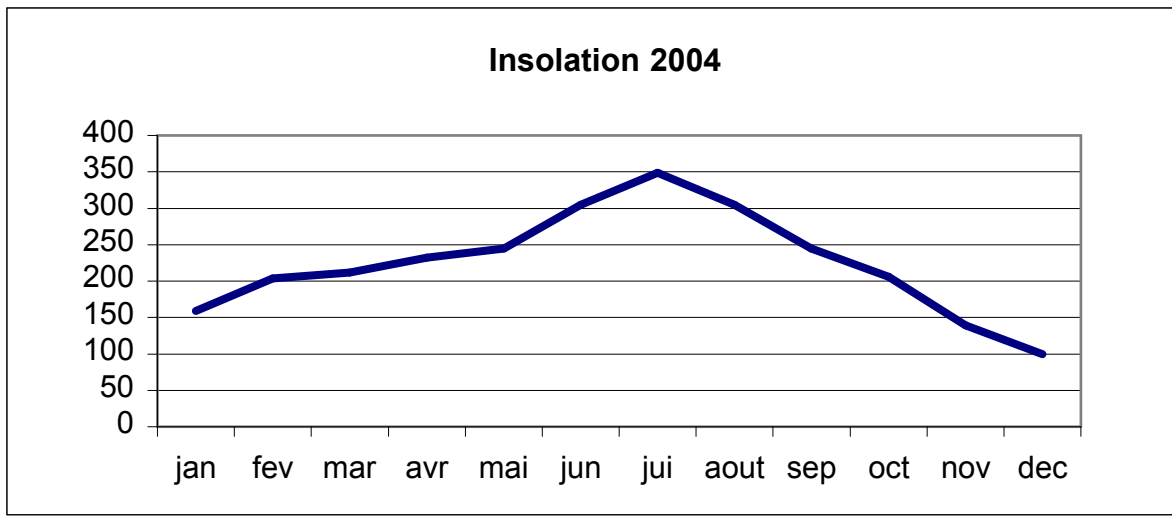


Fig : 1.8 Durée d'insolation en heures de la ville de Constantine

Source : station météorologique Mohamed Boudiaf

1.8.3.2-La nébulosité

La nébulosité est l'estimation de la couverture nuageuses en utilisant une fraction octas (1/8 éme de la voûte céleste occupée par les nuages). La durée d'ensoleillement varient en raison inverse l'une de l'autre (16) , pendant le jour elle intervient en interceptant une partie du rayonnement solaire , ce qui résulte une diminution de l'échauffement de la surface terrestre. Mais on peut avoir une insolation très courte ou nulle au lieu d'observation avec un ciel à demi-couvert dan le cas de nuage stationnaires aux abords d'un relief . Les deux valeurs (nébulosité et insolation) ne peuvent donc se déduire l'une de l'autre dans tous les cas (17) .Dans une grande partie du temps au Sahara la nébulosité est nulle .La quantité d'énergie solaire reçue en un lieu varie suivant le jour et l'heure considérés, et est influencée par les conditions météorologiques et le niveau de pollution de l'air. Les conditions météorologiques sont traduites par l'insolation directe relative : c'est le rapport de l'insolation effective (S) à l'insolation maximale théorique possible (So). Celle-ci détermine les types de ciel :

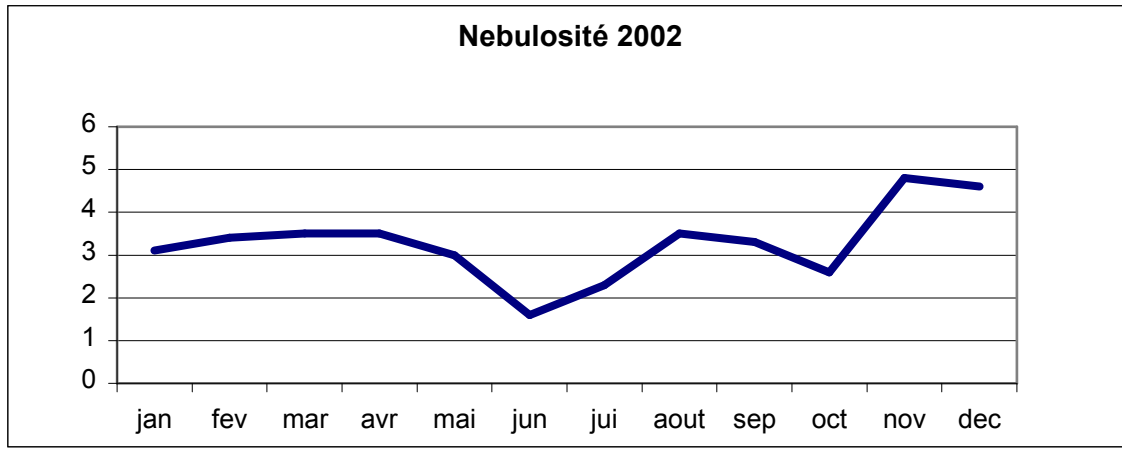
un ciel est considéré comme serein lorsque l'insolation directe relative S/So est comprise entre 80 e100 %
- un ciel est considéré comme moyen lorsque l'insolation directe relative S/So est comprise entre 20 et 80 %
-- un ciel est considéré comme couvert lorsque l'insolation directe relative S/So est

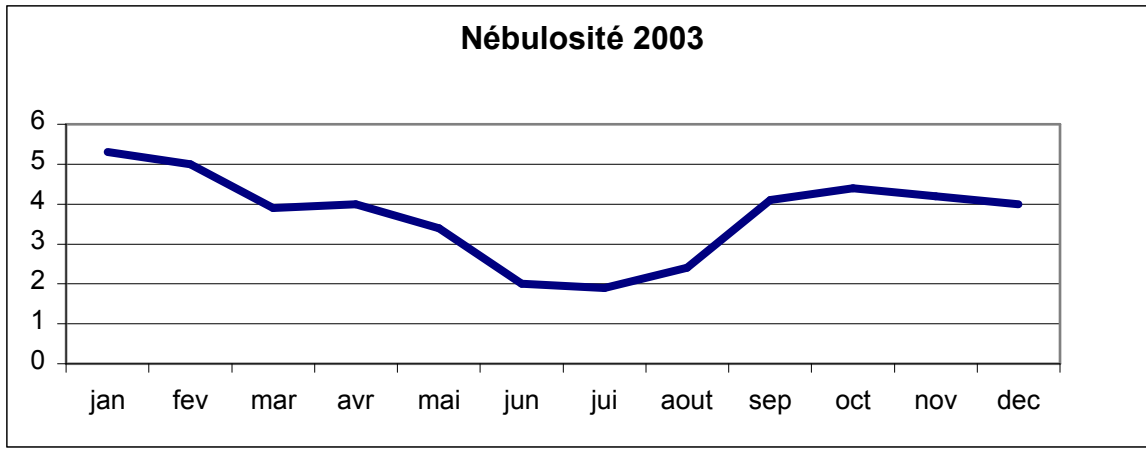
comprise entre 0 et 20 %.

---

16 Estienne P et al , 1970, p30

17 Viers G,1968, p13





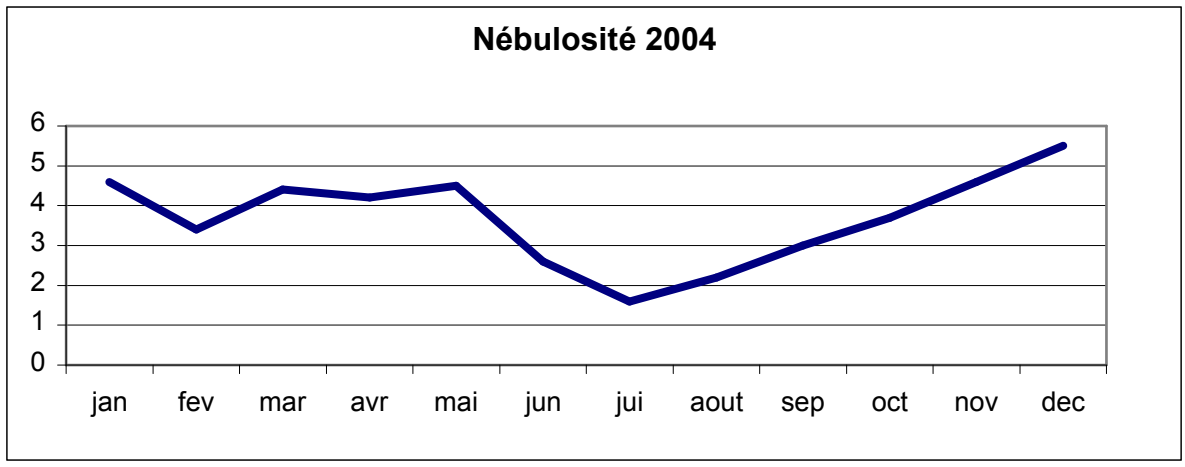


Fig : 1.8 nébulosité en octas de la ville de Constantine

Source : station météorologique Mohamed Boudiaf

1.9- Urbanisme et échelles climatiques

Il est possible de cataloguer quatre types d'échelle des climats (18)

- L'échelle globale ou échelle « macro » (quelques milliers de kilomètres)
- L'échelle régionale ou échelle « méso » (quelques centaines de kilomètres)
- L'échelle locale (quelques dizaines de kilomètres)
- L'échelle microclimatique est limitée

Dans notre étude, nous nous attardons sur le dernier point qui est l'échelle microclimatique en nous focalisant tout précisément sur le climat urbain .

1.10-Types de microclimats

1.10.1-Influence de l'eau

Les étendues d'eau stockent également de grandes quantités de chaleur avec aisance. L'eau agit comme tampon thermique : à l'inverse des sols qui s'échauffent et restituent

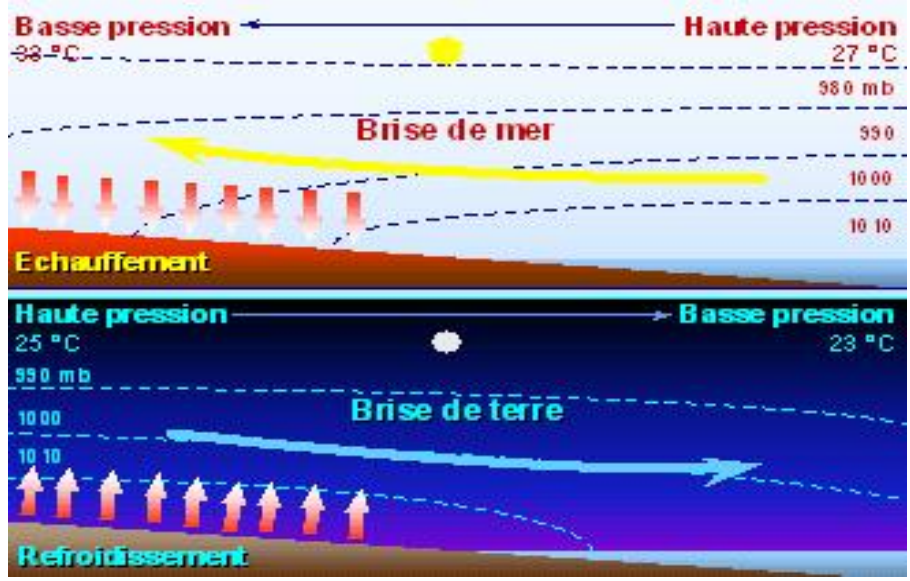


Fig.1.10- Influence de l'eau sur le microclimat

Source : . www-energie.arch.ucl.ac.be

18 Vinet J, 2000 , p20

la chaleur rapidement, l'eau emmagasine et rend la chaleur lentement. C'est pourquoi il fait plus chaud à la Côte en hiver, à l'inverse de l'été où il fait plus chaud dans les villes intérieures qu'à la Côte. De manière générale, la très grande capacité thermique de l'eau rend celle-ci peu sensible aux variations de température de l'atmosphère. Les brises de mer et les brises de terre. Pendant la journée, un échauffement plus rapide sur terre que sur mer aboutit à la création de basses pressions thermiques dans l'arrière-pays et de pressions relativement hautes en mer. La brise fraîche qui souffle de la mer vers la terre tend à supprimer le déséquilibre ainsi créé. Durant la nuit, la déperdition par rayonnement est plus forte sur terre que sur mer et les courants aériens sont inversés. La présence d'une rivière, d'un fleuve et d'une étendue d'eau peut modifier considérablement par évaporation certaines des composants du climat local .Ainsi , l'existence d'un éventuel microclimat due à la présence d'une étendue d'eau a été étudié numériquement .Un potentiel microclimatique favorable est constaté , il est maximal jusqu'à 100m de la berge de la rivière et correspond à un abaissement de température de l'air de 6 à 7°C (à une hauteur de 1.75 m) et s'étend de manière atténuée sur plusieurs centaine de mètre (19)

1.10.2-Influence de la végétation

Dans les régions fortement boisées, les arbres interceptent de 60 à 90 % de la radiation solaire, empêchant l'augmentation de température du sol. Ainsi, l'air s'y échauffe dans une moindre mesure qu'ailleurs. Ce phénomène est permanent ou saisonnier suivant qu'il s'agit d'arbres à feuillage permanent ou caduc. Par ailleurs, les arbres empêchent la radiation nocturne : la chute de température durant la nuit est donc limitée.

10.3-Influence d'un site urbanisé

En ville, les apports gratuits provenant des véhicules, industries, chauffage, etc.. ainsi que la nature du sol et la quantité importante de matériaux à forte inertie réchauffent l'atmosphère. Le dôme de pollution recouvrant les villes limite également les radiations

---

1 9 Vinet ,J , 2000 , p35

nocturnes, de telle sorte qu'en moyenne, la température en ville est de 3 à 5°C plus élevée qu'en site dégagé. La pollution ralentit le réchauffement matinal de l'air et la grande quantité de matériaux accumulateurs freine la chute de température en début de soirée. Les sites dégagés sont fortement balayés par les vents et largement ouverts vers la voûte céleste. Il y fait donc plus froid qu'ailleurs. Parmis les espaces extérieurs qui peuvent procurer un microclimat Sablet S (20) à cité 56 types d'espaces extérieurs parmis ces espaces on peut cité : les places et placettes publiques , squares ,rues, ruelles, cours urbaines, cours intérieures ,passages couverts, rues piétonne espace arborés, etc.

1.10.4-Influence de la topographie

Les régions accidentées présentent un microclimat varié .chaque pente à ses propres caractères L'intensité du rayonnement solaire est influencée par le relief du site, ainsi, les collines retardent le lever et accélèrent le coucher du soleil, selon l'importance de leurs hauteurs les pentes sud jouissent d'une meilleur insolation que les endroits plats voir fig.(1.11). La figure ci-dessous propose d'examiner l'évolution typique des températures extérieures sur 24 heures dans un relief montagneux. On constate que

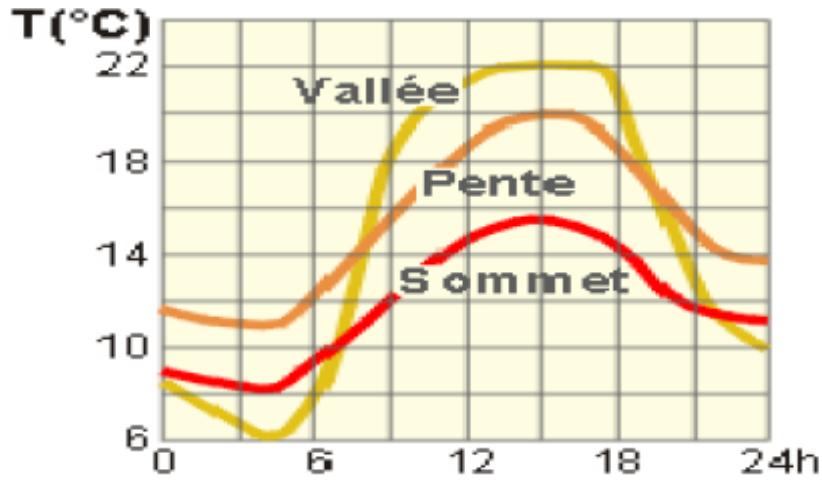


Fig :1.11-Influence de la topographie sur le microclimat

Source : . www-energie.arch.ucl.ac.be

---

20 Sablet S ,1988, p14

les vallées sont en général plus chaudes le jour que les sommets. Par contre, de nuit, le soleil n'entrant plus en ligne de compte, l'air se refroidit et s'accumule au fond des vallées et des petites dépressions. Il se crée ainsi une différence de température au profit des pentes directement en contact avec ce qu'on appelle la ceinture chaude. Dans les longues vallées, le phénomène tend à créer un mouvement d'air longitudinal d'autant plus puissant que la vallée est longue et que le gradient de température est élevé

L'altitude influence aussi la température. La pression diminuant avec l'altitude, l'air se détend et se refroidit. Cette diminution de température est de l'ordre de 0,7 °C par accroissement de 100 m. L'existence de bâtiments qui modifient le bilan énergétique, le mouvement de l'air l'ensoleillement les températures , etc. De ce fait l'urbanisation d'un paysage (habitations, routes, ponts) altère grandement les caractéristiques en eau, les sols et la végétation.

1.11-Le climat et l'urbanisme

1.11.1-Spécificité du climat urbain

L'interaction entre le climat et la ville et une des préoccupations la plus importantes depuis quelques dizaines d'années, même si, depuis Vitruve. Ce sujet est toujours considéré comme complexe est divers. En effet, le climat urbain est fortement dépendant aussi bien de la situation géographique que de la structure .

Le microclimat est important vue la croissance des villes qui est extrêmement rapide, aussi bien en terme de développement des limites urbaines, qu'en quantité de population. Ainsi, actuellement 170 villes comptent plus d'un million d'habitants pour les quelles on considère une création de 25000 tonnes de dioxyde d carbone et un gaspillage de 300000 tonnes d'eau par jour (WNO 1996).(21)

La vile en modifiant le climat agit directement sur les problèmes de santé liés à la pollution et aux vagues de chaleur, sur le confort en espace extérieur . Des travaux de

21 Cité par Vinet J ,2000 , p36

référence permettent de faire le point sur les spécificités du microclimat urbain (Oke 1987, Akbari et al 1992 ,Mstayer et al 1994). Le climat urbain est du essentiellement aux activités spécifiques à a ville .La température en un lieu est dépendante de la nature des surfaces environnantes et est influencée par l'occupation du site et par son relief. Les sols couverts de végétation favorisent l'évapotranspiration d'eau et ainsi la réduction de l'échauffement de l'air. Les sols aménagés par l'homme et couverts par des matériaux à forte inertie (béton, pavés, briques, ...) stockent la chaleur durant les journées ensoleillées et la rayonnent en début de soirée. Ils ont pour effet de retarder la chute de température nocturne.

-des surfaces urbaines imperméables et un drainage rapide des eaux de pluie . Dans les villes la majeure partie de l'eau est collectée par le réseau de drainage vers les égouts et finalement vers les rivières et la mer, en restant sous forme liquide. Ainsi l'évaporation est fortement réduite dans l'atmosphère urbaine et la chaleur latente qui n'est pas puisée dans ce bilan énergétique est une des causes de l'îlot de chaleur urbain.

- Réduction de la couverture végétale .La multiplication des surfaces minérales, augmentent les surfaces collectant le flux radiatif solaire. De plus l'utilisation de matériaux de couleurs sombres pour les routes et les bâtiments, entraîne la création de villes qui absorbent l'énergie solaire incidente au lieu de la réfléchir. Ainsi , les régions urbaines ont souvent un coefficient de réflexion solaire (albédo) plus faibles que celui des régions rurales .

Un taux de pollution élevé. La chaleur évacuée par l'industrie, le commerce et la consommation énergétique résidentielle. Les activités humaines ont pris une telle dimension que la pollution de l'air se situe à tous les dimensions. Au niveau des agglomérations, la pollution atmosphérique connaît , de graves problèmes pollution atmosphériques du fait de la concentration des activités .La pollution de l'air pose un problème de santé publique, et a aussi des impacts négatifs sur la végétation et le patrimoine bâti.

De nombreux travaux sur le climat urbain ont comparé les propriétés des milieux ruraux et urbains au point de vu climatique (WMO 1996, Kaule 1995 ,Escourou 1983 ,1991 , Oke 1988 , Barry et Chorley 1978, Bairoch 1977 , etc.) .

Toutes ces références relèvent l'importance des écarts entre ces deux milieux où tous les éléments du climat se trouvent modifiés.

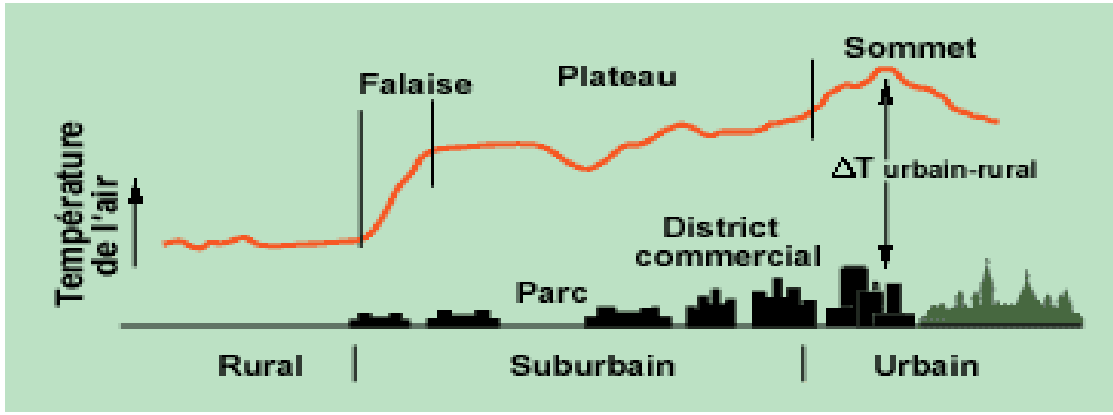


Fig :1.12-Influence de la densité urbaine sur le microclimat

Source :www.atmosphére.mgp.de

1.12- Microclimat de Constantine

La ville de Constantine est caractérisée par un site particulier et hétérogène vue sa taille, et sa densité urbaine, ces caractéristiques affectent le climat régional en le modifiant pour créer un microclimat spécifique, en effet le microclimat de la ville de Constantine se trouve affecté par les facteurs suivants :

La topographie du site qui se caractérise par des terrains accidentés, ces reliefs particuliers, d'où une influence directe sur les vents dominants et le rayonnement solaire . La densité urbaine : Constantine est caractérisée par une forte densité urbaine, l'implantation des nouveaux cités (Z.H.U.N) condensées , La nature du sol caractérisé par les grandes surfaces goudronnées et des espaces nus, ce qui augmente l'absorption du rayonnement solaire qui dépend de l'albédo des surfaces .La diminution des surfaces végétales, ce qui diminue l'évapotranspiration et entraîne une augmentation de la chaleur latente ,les normes préconisées par l'O.N.U pour la couverture végétale etant de 10m²/hab, pour le cas de Constantine , cette surface ne dépasse pas les 0.06m²/hab. Le microclimat de Constantine est affecté aussi par la chaleur anthropique vu l'augmentation des véhicules, ainsi que la chaleur dégagée des usines et des zones industrielles .

1.13- Ilot de chaleur urbain

L'îlot de chaleur urbain se définit comme etant la différence de température entre le centre de la ville est le milieu rural .En règle générale il se développe la nuit par temps calme . En effet les différences de températures entre la ville est la campagne son plus sensibles la nuit, car la ville restitue la chaleur emmagasinée durant la journée plus lentement que son environnement.

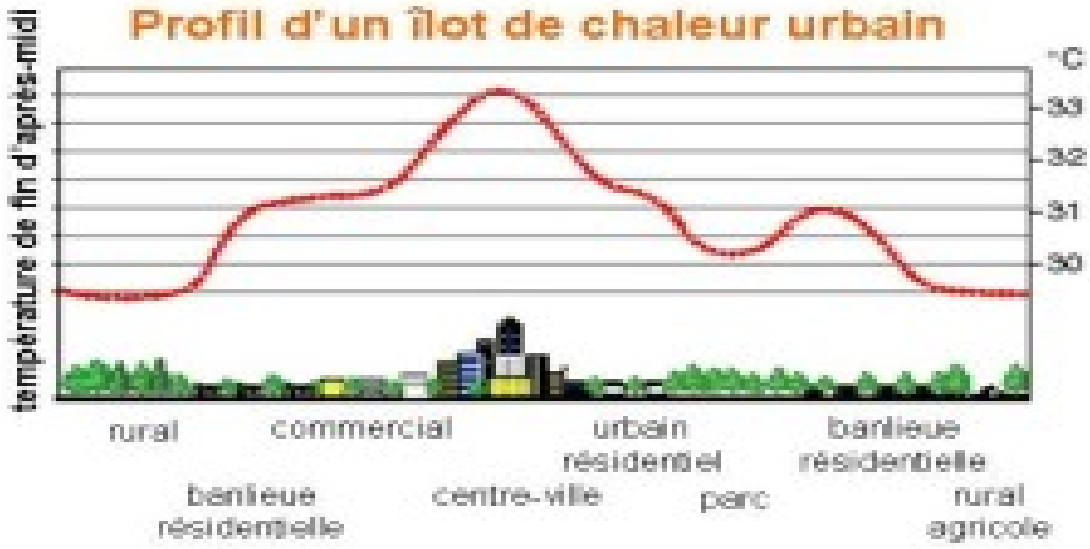


Fig :1.13-Ilot de chaleur urbain

Source :www.atmosphére.mgp.de

rural C'est le phénomène le plus caractéristique du climat urbain. L'îlot de chaleur urbain dépend de la densité de la ville que de sa taille car ce phénomène existent aussi bien pour les grandes villes que les villes moyennes ceci signifie que la configuration de la ville, la multiplication des activités et des besoins énergétiques sont les plus décisifs dans l'apparition de ce phénomène . .Des études américaines (Akbari et al. 1992) (22) ont montré que les températures estivales, dans les zones urbaines, sont généralement plus élevées de 1 à 4°C que celles des zones rurales environnantes. Ce

22 Ibid p37

phénomène peut être un avantage en hiver car il permet de diminuer les factures de chauffages .Cependant, dans les climats chauds, une augmentation de la température entraîne une augmentation de la demande énergétique en conditionnement de l'air .Pour chaque augmentation de la température estivale de 0.5 °C, le pic des charges de conditionnement d'air s'élève de 1.5 à 2% .Ainsi avec l'augmentation de la température de 1 à 2°C élève la consommation électrique de 5 à 8% .Parallèlement , l'îlot de chaleur urbain estival augmente également la production de brouillard « Smog » de 10% pour une élévation de température de 2.5 °c.

Dans la canopée urbaine, zone comprise entre le sol et le niveau moyen des toits, les six causes d'augmentation de chaleur sont les suivants (23) :

-Augmentation de l'absorption du rayonnement solaire par les matériaux urbains (albédo faible)

-Augmentation du rayonnement GLO du ciel

-Augmentation du stockage de chaleur par les surfaces urbaines

-Diminution de la consommation de chaleur latente par réduction de la végétation et collecte des eaux .

-Diminution de la réflexion du rayonnement solaire par effet d piégeage radiatif

-Sources anthropogéniques de chaleur et d'énergie (négligeable)

La consommation d'énergie en ville peut être donnée par l'équation suivante 19

Q_{net}	+	Q_a	=	Q_{bat}	+	Q_l	+	Q_s
rayonnement net		énergie anthropique		chaleur stockée dans le bâtiment		chaleur latente		chaleur sensible

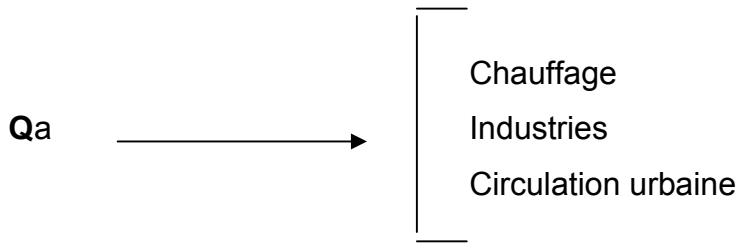
23 Mestayer et al,1994, p165-189

Le rayonnement net et la chaleur sensible ne peuvent être modifiée par directement , le concepteur est en mesure d'intervenir pour modifier ces propriétés il apparaît donc pour modifier l'îlot de chaleur urbain, il faudrait diminuer la quantité de chaleur stockée par les bâtiments **Q**bat , réduire l'énergie anthropique **Q**a, et augmenter la chaleur latente **Q**l

Il est dû à plusieurs causes liées à la densité , la géométrie et l'albédo urbain ; d'une part , par l'absorption de la radiation durant la journée par les bâtiments, favorisé par les multiples réflexions du rayonnement dans les profils urbains, augmentent avec la

hauteur des bâtiment ; d'autre part , à la lenteur de refroidissement des bâtiments, due à la faible vue du ciel des différentes surfaces urbaine comparativement au milieu rural .De même , la faible capacité de réfléctance de la ville, qui dépend de l'albédo des matériaux et de la géométrie urbaine, peut accroître l'absorption de chaleur dans le tissu urbain .L'albédo urbain dépend des rayons solaires sur la surface . Ainsi qu'il augmente lorsque les rayons forment un angle faible avec la surface et diminue, jusqu'à devenir minimal pour un rayonnement qui lui est perpendiculaire (Escourrou ,1981) (24).

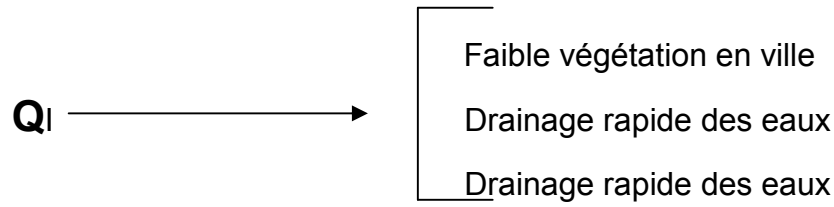
1.13.1-L'énergie anthropique **Q**a



Elle est due au chauffage, à la climatisation, à l'éclairage, aux industries et à la circulation urbaine .Le concepteur peut modifier l'énergie produite par ces activités urbaines en favorisant une conception qui exploite les énergies naturelles(architecture passive).

24 Cité par Vinet J,2000, p38

1.13.2- La chaleur latente Ql



La ville est caractérisée par un taux très élevé de surfaces imperméables qui favorisent le drainage rapide des eaux de pluies réduisant ainsi, le potentiel d'eau évaporable . D'autre part l'évaporation serait réduite Escourrou 1991 (25)

- 19% quand 25% est imperméabilisé
- 50% quand il s'agit de 38% de la surface
- 75% pour 59% de la surface

L'évaluation des effets thermique des espaces verts à fait l'objet de plusieurs chercheurs. Cette stratégie à été largement recommendée par l'ensemble des auteurs qui ont écrit sur le climat urbain (Akbari et al 1995 ,Mc Pherson 1994, Escourrou 199 , Davis 1990 , etc.)

Parmi ces études (Avissar R,1996) a simulé les effets potentiels de la végétation sur l'environnement urbain global quelques unes des résultats résumées ci-dessous :

- La végétation peut affecter véritablement tous les éléments du climats dans les airs urbaines
- Plus le rapport végétation / bâti augmente plus la chaleur latente augmente ce qui produit un baisse dans la chaleur sensible .les températures de l'air se réduisent graduellement jusqu'à retrouver les conditions rurales environnantes
- L'efficacité de la végétation dépend d'un aspect important qui est a localisation dan la ville, par conséquent il est important d'étudier les meilleurs localisations pour une efficacité climatique optimale (26)
-

25 Ibid p44

26 Avissar R, 1996 p 437-445

1.14- Conclusion

Dans ce premier chapitre il a été traité la notion climat ainsi que ses types, les climats apparaissent nuancés à travers le monde, ils sont aussi sont contrastés. La carte des climats de la terre montre une véritable mosaïque qui se traduit par des climats chauds et humides, chauds et secs, tempérés humides, tempérés froids, etc. L'analyse climatique de la ville de Constantine a été appréhendé à travers sa situation géographique, elle nous a permis de dégager les caractéristiques climatiques de la ville de Constantine, le paramètre ensoleillement a été étudié a part vu son importance et vu qu'il représente l'objectif de notre étude. Une autre partie a été consacrée aux interactions et l'espace dans sa globalité et on a vu que chaque région se crée un microclimat selon sa spécificité, et sous l'effet de l'urbanisation un microclimat local se crée ces variations s'expliquent par le fait que sous l'influence de l'agglomération les élément climatiques sont tous plus ou moins affectés. les microclimats urbains essentiellement artificiels, peuvent transformer la ville en « îlot de chaleur urbain » ce qui modifie les paramètres physiques principaux de l'air cette augmentation excessive des températures entraîne des perturbations aussi bien au niveau du confort, qu'au niveau des consommations énergétiques (climatisation) et des nuisances associées (pollution) .l'utilisation intensive de l'énergie propre en ville « l'énergie anthropique » est aussi un facteur majeur de pollution atmosphérique, car elle contribue dans des proportions non négligeable aux émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère Il s'ensuit que l'atmosphère urbaine est caractérisée par un stress thermique important et de nombreux risques pour la santé. Ce constat nous incite à essayer de mieux comprendre comment le climat influe sur l'espace extérieur .Ce ci nous incite à réfléchir a la caractérisation microclimatique de l'espace extérieur. Ainsi le prochain chapitre va s'intéresser au confort thermique dans ces espaces dans le but d'une intervention pour améliorer l'espace vécu par l'être humain .

2.1 Introduction

Certains spécialistes estiment que la notion de confort thermique dans les espaces extérieurs souffre de ne pas avoir ses propres théories, et par réponse à des nouveaux besoins on transpose presque directement les indices utilisés pour l'intérieur vers l'extérieur (**1**) . L'objectif des nouvelles études est de déterminer dans quelles mesures ces modèles sont transposable à des contextes extérieurs.

-Ce chapitre constitue une investigation spécifique sur le confort thermique dans les espaces extérieurs dont la cour fait partie. Cet espace, constitue un lieu d'activité pour l'individu et le prolongement direct de l'espace intérieur. A ce titre il y a lieu d'y chercher certaines conditions de confort et d'agrément de l'usager, d'oū l'intérêt de l'homme en tant qu'utilisateur de cet espace. Il est important de rappeler que, le développement des indices de confort en milieu extérieur dépendent de la prises en compte de deux facteurs importants qui sont les charges radiatives (rayonnements solaires et infrarouges), et le vent. De cela Une partie de ce chapitre sera consacrée aux indices qui permettent de quantifier la partie objective du confort thermique en extérieur, les principaux indices seront présentés en essayant d'insister sur leurs particularités, ces indices amèneront à présenter des zones de confort et notamment pour les particularités de nos climats.

2.2 Confort thermique

Lorsque nous évoquons le confort thermique, le premier point qui nous vient à l'esprit est plutôt la notion d'inconfort thermique. Il est en effet plus aisé de définir ce qui est gênant pour un individu. Mais avant de définir la notion de confort thermique en extérieur, il est intéressant de rappeler que le confort thermique, est une sensation qui fait intervenir des facteurs physiques, physiologiques et psychologiques.

Les définitions sont nombreuses, et convergent généralement vers le point de vue, q'une ambiance confortable est une ambiance pour la quelle l'organisme humain peut maintenir constante sa température corporelle(Homéothermie), sans mettre en jeu d'une manière perceptible, ses mécanismes instinctifs thermorégulateurs de lutte

---

1 Candas et al. 1991 ,p 59

contre le chaud et le froid (2). Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement (3).
Malgré la complexité évidente de l'appréhension de cette notion, il est possible d'estimer les circonstances dans lesquelles aucune situation de confort n'est atteinte (stress thermique).
La notion du confort reste une notion subjective, vue la singularité de chaque situation, et vue la complexité de l'être humain. Pour cette raison, nous ne pouvons faire autrement**,** que d'approcher la sensation de confort thermique à travers la connaissance, des différents échanges entre l'individu et son environnement, puis par la définition et caractérisation du confort thermique en extérieur. Nous pouvons définir certains indices qui nous permettent la quantification du confort thermique en extérieur les résultats obtenus peuvent s'avérer très utiles pour les travaux de modélisation des transferts radiatifs dans les chapitres qui suivent, grâce aux indices définis.

2.3 - Le confort thermique en extérieur

Alors que dans les espaces intérieurs, la notion de confort est limitée à la température de l'air, ces conditions se modifient nettement en extérieur, nécessitent la prise en compte du rayonnement solaire et infrarouge. Des vitesses de courant d'air qui auraient pu paraître insupportables dans un bâtiment, peuvent devenir en situation chaude non seulement tolérables mais parfois indispensables de manière à favoriser l'évacuation de la chaleur par transpiration. Un point qui doit être souligné toujours dans les espaces extérieurs, est qu'en présence du rayonnement solaire, seul le vent peut ramener la charge thermique solaire à des proportions acceptables.
la plus grande diversité des surfaces de l'environnement construit (forme, matériaux, couleurs, végétations, etc.) ce qui induit une non homogénéité des transferts de chaleur et la plus grande complexité des géométries à envisager**.** L'analyse fine montre que contrairement aux espaces intérieurs, les caractéristiques climatiques dans les

---

2 Depecker et al.1989, p32

3 Galeau et al. 1989 p6

espaces extérieurs, varient d'un espace à un autre « Il y'a autant de microclimats qu'il y a de configurations architecturales » (4)

2.4-Les éléments du confort

Les relations entre l'individu et son environnement sont déterminantes dans l'estimation des situations de confort**.** Avant de présenter les indices de confort en extérieur, nous commençons par détailler les différents éléments qui interviennent dans l'estimation du confort thermique en extérieur qui sont :

- Les éléments liée à l'individu
- Les éléments liées à l'environnement

2.4.1- les éléments liés a l'individu

Deux facteurs sont liés à l'individu dans l'appréciation du confort : ,les vêtements (l'habillement) et le métabolisme de l'individu.

Mais avant de définir ces deux facteurs il est intéressant de rappeler que l'homme est un être homéotherme(température constante)Sa température interne doit être comprise entre 36,8°C et 37,2°C (inconfort généralisé en dessous de 36,5 °C et au dessus de d 37,5 °C) pour un individu au repos et elle doit être comprise entre 37,0 °C et 37,5 °C pour un individu au travail le corps humain tend à maintenir sa température interne à environ 37°C c'est le mécanisme de thermorégulation (5)

2.4.1.1- Le vêtements

L'habillement (H), représente une résistance thermique aux échanges de chaleur qui ont lieu entre la surface de la peau et l'ambiance. Afin de simplifier l'estimation des échanges de chaleur qui se produisent au travers des différentes couches d'air que contiennent les vêtements, chaque type d'habillement est caractérisé par une valeur relative. Cette valeur est exprimée en clo (1clo = 0.155 m².K/W) l'unité d'habillement.

---

4 Sacré.1983, p119

5 Galeau et al .1989, p15

Il est équivalent à une résistance thermique de 0,155 m2K/W (6) La température de la peau peut varier entre 33,0 °C et 34,5 °C chez l'homme vêtu (inconfort généralisé en dessous de 32,5 °C et au-dessus de 34,8 °C (7). Enfin il et à noter que les difficultés à définir les caractéristiques thermiques des vêtements sont nombreuses et représentent un problème lors des prévisions de confort.

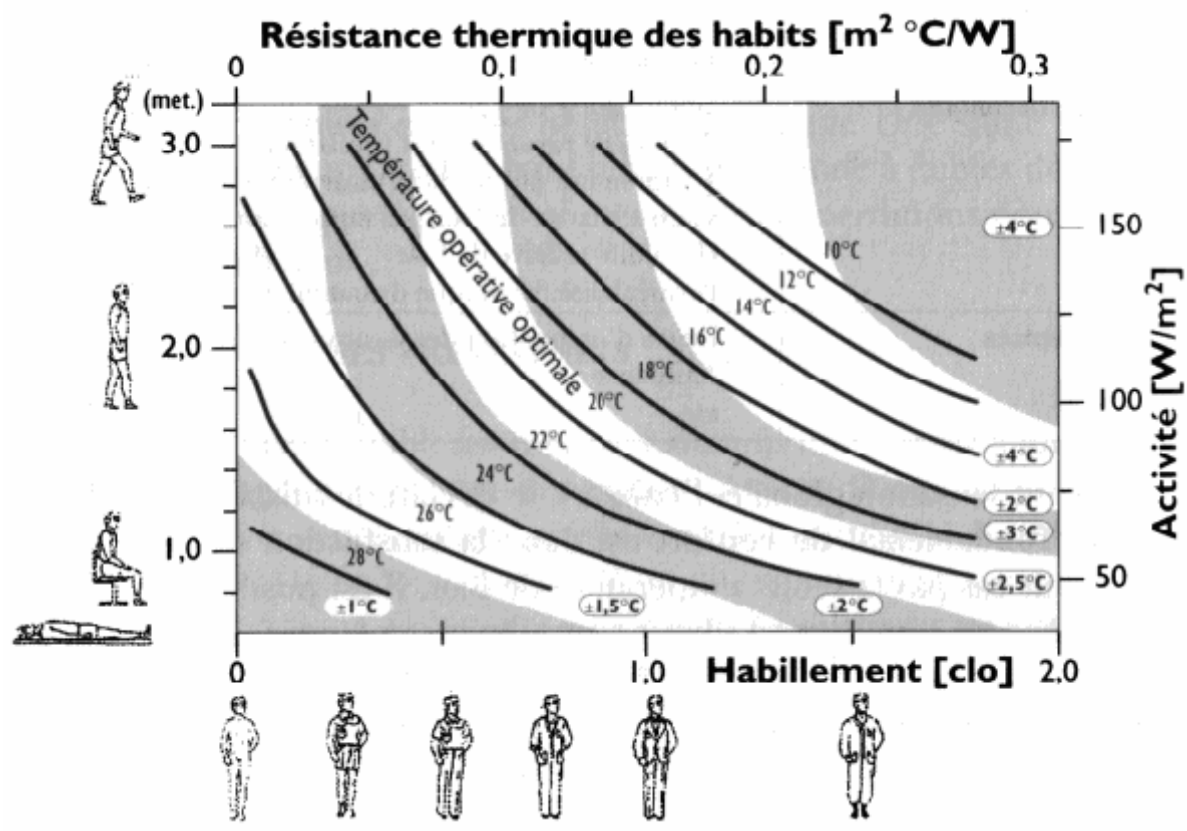


Fig.2.1 -Résistance thermique des habits

Source : Izard.J.L 1994,p9

6 Urba –gloss ,1995 , Global climate change -fr (Consulté le20 /01/2004)

7 Vinet , J, 2000, p 97

2.4.1.2. Le métabolisme

Le métabolisme représente la production de chaleur interne du corps humain nécessaire pour le maintenir à la température constante de 36,8 °C. Le métabolisme est représenté par l'effort physique dépensé dans une activité, rapporté à l'unité de surface du corps de l'individu : il s'exprime en W/m2.

Le "métabolisme de base" est celui d'un individu normalement constitué et au repos. Il est évalué à environ 75 W/m2 (8) pour une surface du corps humain fixée en moyenne à 1,8 m2. Le "métabolisme de travail" s'ajoute au "métabolisme de base" afin de compenser le travail effectué par l'individu par une production de chaleur supplémentaire. Les valeurs sont également exprimées en met : c'est l'unité d'énergie métabolique (1 met =58 w/m²). Le métabolisme de base est la production de chaleur venant du processus végétatif (continu et inconscient), tandis que le métabolisme musculaire, est la production de chaleur par les muscles effectuant un travail (contrôlable et conscient).

« Il est remarque qu'en tenue d'hiver (1 clo), une personne assise (1 met) demande, en moyenne, une température opérative de 23±2°C. Cette température tombe à 18±3°C,si cette personne a une activité plus grande (2 met), qui correspond à une activité de ménage. Le niveau d'activité va du sommeil jusqu'à l'activité sportive, en passant par le repos assis, le repos debout, la marche (environ 5km/h),le travail léger , le travail lourd » (9).Pour chaque niveau d'activité,on put estimer la valeur du métabolisme

« Le métabolisme peut se décomposer en deux parties l'une purement thermique et une autre partie mécanique » (10)

$M = M_{th} + W$ Oŭ

Mth représente le métabolisme thermique

M représente le métabolisme mécanique

---

8 Sprague et al ,1974, p120

9 Vinet J,p96

10 Ibid, p97

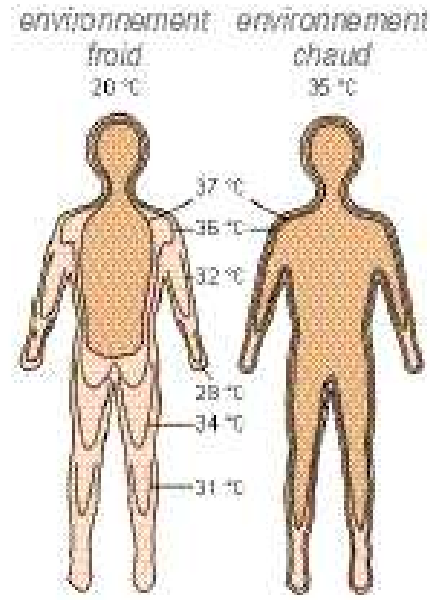


Fig 2.2 Héméothermie de l'homme

, ww.cnam/Ergonomie CNM .htm,2004

2. 4.2 – Les éléments liés à l'environnement

Dans la description des éléments concernant le confort thermique, quatre facteurs sont pris en considération dans leurs variations temporelles et spatiale qui sont : la température de l'air, l'humidité, température radiante moyenne et la vitesse de l'air. « En extérieur en plus des facteurs cités il faut prendre en compte : les apports solaires (directs, indirects et diffus), vent(vitesse moyenne, intensité de turbulence et vitesse de pointe)les différents précipitations à savoir la pluie, la grêle, la neige, etc. »(11) Les aspects radiatifs constituent l'objet principal de notre travail, il est nécessaire de présenter certains travaux qui ont étudiés l'influence de ce facteur sur l'être humain

2.4.2.1 - Le rayonnement :

Ces échanges s'opèrent sans contact entre deux corps à différentes températures. Chacun d'eux absorbe une fraction de l'énergie par radiations émises par l'autre : cette fraction dépend de leurs températures, de leur pouvoir respectif d'absorption et d'émission, et de leurs angles de vue respectifs.

Galeau et al , 1989 ,p28

Dans le domaine du confort, on peut distinguer deux types de rayonnements : les rayonnements de courtes longueurs d'ondes (CLO) et les rayonnements de grandes longueurs d'ondes(GLO). Le rayonnement de courte longueur d'onde correspond fournie par le soleil alors que le rayonnement de grande longueur d'onde provient de l'énergie absorbée et réémise par l'atmosphère et celle provenant des surfaces environnantes. La peau, quelle qu'en soit la couleur, est un "corps noir" du point de vue thermique elle absorbe 90% des rayonnements émis par des sources de température inférieure à 100°C (12). Il y a dans ce cas encore, beaucoup d'approximations : température moyenne de la peau, évaluation de la surface corporelle exposée, température moyenne de l'environnement (l'approximation n'est acceptable que si l'environnement est uniforme).Le rayonnement solaire possède à la fois des effets thermiques et biologiques sur l'homme, l'effet du rayonnement solaire dépend de la position dans l'espace extérieur, il dépend de la position du corps par rapport au soleil, des vêtements, de l'albédo des objets environnants et de la vitesse de l'air.

L'albédo (facteur de réflexion de l'environnement extérieur)détermine la quantité de rayonnement solaire de courte longueur d'onde. Les effets du rayonnement solaire dépendent :

-de la posture de la personne par rapport au soleil une personne allongée reçoit plus d'ensoleillement qu'une personne debout,

-du vêtement, qui intercepte les rayonnement

-de la réflexion de l'environnement, immédiat.

-de la vitesse de l'air, une personne au repos est plus sujette aux rayonnements solaires qu'une personne en mouvement, le mouvement favorise les déperdition de chaleur par convection.

Une étude expérimentale effectuée par Givoni (13) a estimé que la quantité de rayonnement direct incident sur une personne légèrement vêtue portant un chapeau dans une position debout était de 70% de celle incidente sur un sujet assis le dos tourné au soleil. Ceci est valable pour le mois d'été à des latitudes comprises entre 35° nord et 35° sud de l'équateur pour les heures comprises entre 9h et 15h.Par contre, la quantité de rayonnement réfléchie est de 50% inférieure pour un sujet assis par

---

12 Liébard A , 2002,p110

13 Givoni 1978 p78

rapport à un sujet debout.

Une étude a été menée par Szokoalay. S (14). il Considère que le rayonnement incident sur l'être humain 70 W/m² est équivalent à un augmentation de température de 1°C.Le corps humain à été pris comme un cylindre de 1.8 m de hauteur et de 0.3 m de diamètre de la façon suivante :

La tête circulaire $A = 0.3^2 .\pi /4 = 0.07\ m^2$

Tout le reste du corps $A' = 1.8 \times 0.3 = 0.54\ m^2$

2.4.2.2 La convection :

Elle correspond à l'échange entre le corps et un fluide en mouvement qui est presque toujours l'air (mais peut être également de l'eau). Ces échanges sont d'autant plus importants que la ventilation est efficace et le milieu ambiant plus froid que la température du revêtement cutané. Ces échanges peuvent être diminués par l'interposition d'une couche isolante comme les vêtements. La principale difficulté est de déterminer avec une précision suffisante, la surface effective du corps exposé les températures et les vitesses d'air à proximité du sujet. Il y a convection naturelle, si le mouvement d'air est lié à son réchauffement à proximité du corps immobile (en pratique pour des vitesses inférieures à 0,1 m/s). Il y a convection forcée, s'il est provoqué par le mouvement (vent naturel ou ventilateur).

2.4.2.3 La conduction

Les échanges par conduction se produisent par contact avec un solide au niveau des surfaces d'appui du corps. La surface de contact entre un individu et son environnement se résume souvent à la plante des pieds, négligeable par rapport à sa surface totale extérieure. La résistance thermique des chaussures est par ailleurs assez élevée, on considère généralement le flux comme nul. Pour des personnes assises, la surface de contact du corps devient plus importante (bas du dos, fesses

---

14 Szokoalay. S, 1980 p275

et arrière des cuisses). (15)

2.4.3 - Subjectivité du confort thermique

Comme il a été indiquée plus haut, le confort thermique est une expérience subjective, qui dépend des conditions très variées, Berger X (16) a essayé d'établir une liste qui englobe certains de ces variables :

- Vêtement : une personne portant un costume de travail des sous-vêtements en coton demande une température de 7°C inférieur à celle d'un corps nu.
- Acclimatation : étant exposé à de nouvelles conditions climatiques le corps humain se réajuste en trente jours et par ce temps les préférences thermiques changent.
- Age et sexe(genre) : le métabolisme des vieux est ralenti ; par conséquent ils préfèrent des températures élevées par rapport aux jeunes personnes. Les femmes ont un métabolisme moins rapide que les hommes elles demandent un degré Celsius(1°c) de différence plus que les hommes
- Forme du corps : une personne grande de taille a plus de surface de corps qu'une personne petite. De même une personne de bonne corpulence dissipe plus de chaleur et tolère des températures plus élevées.
- Matière grasse sous cutanée : la graisse sous la peau constitue un excellent isolant thermique une personne en surpoids demande de l'air frais pour dissiper la même chaleur q'une personne maigre
- Etat de santé : le métabolisme peut être augmenté ou diminué
- Nourriture et boisson : la nourriture influe directement sur le métabolisme de la personne
- Couleur de la peau : il a été démontré qu'une personne à peau claire réfléchit trois fois plus de radiations solaires qu'une personne brune

---

15 Milanvoye M , 2004 , p2

16.BERGER X .1993 p3

2.5 – Equilibre des échanges entre l'homme et l'environnement

le corps humain est un système soumis à des flux thermiques entrant et sortant. L'équilibre thermique correspond à une somme algébrique nulle de ces flux.

Flux thermiques entrants:

- Chaleur reçue de l'environnement (essentiellement de l'air ambiant) par conduction et/ou par convection
- Chaleur radiative reçue du soleil (ou de surfaces chaudes), par rayonnement
- Chaleur dégagée à l'intérieur du corps par le métabolisme de base et le travail mécanique fourni par le sujet

Flux thermiques sortants:

- Chaleur cédée à l'air ambiant par conduction , convection et rayonnement
- Chaleur cédée par évaporation (exhalation, sudation)

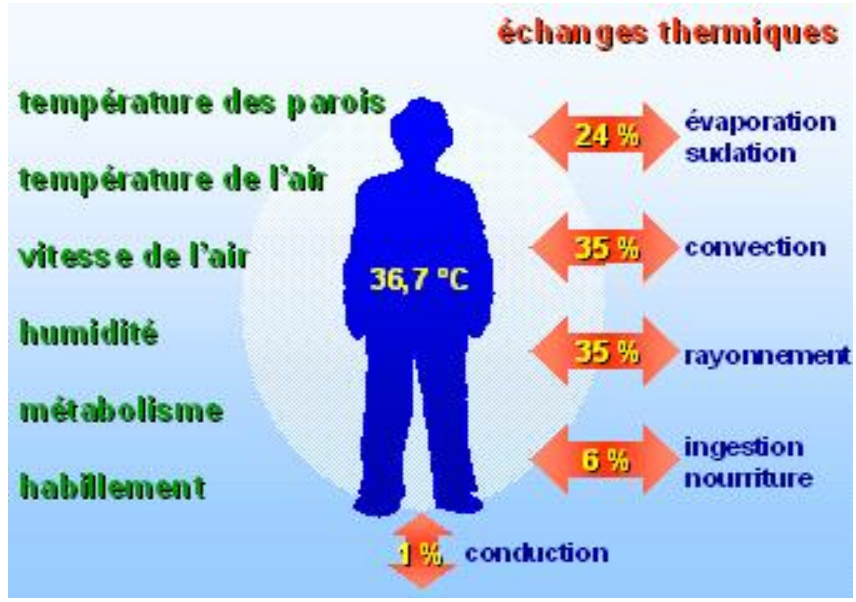


Fig : 2.3 équilibre thermiques entre l'homme et son environnement
Source : www energie.arch.ucl.ac.be

L'équilibre thermique de l'homme, est réalisé lorsque la chaleur produite est complètement dissipée vers l'environnement. La chaleur produite dans les tissus du corps humain est transportée de manière continue vers la peau, où elle est émise vers l'environnement par convection, rayonnement, évaporation (sudation) et conduction. Pour faire un bilan thermique complet en extérieur , il faut tenir compte, dans les apports de chaleur, des radiations solaires, de la conduction (de l'air ou de surfaces plus chaudes) ainsi que la radiation des surfaces. L'équilibre thermique peut donc se définir comme l'égalité entre les apports de chaleur et les pertes de chaleur. Si cet équilibre est perturbé, soit par des modifications internes, soit par des modifications environnementales, les mécanismes thermorégulateurs du corps humain sont activés

2.6– Limite de la notion de confort en extérieur

Quelque soit l'indice utilisé pour décrire l'ensemble des paramètres du confort thermique, il n'a de sens que dans une enceinte thermique dont les six paramètres déjà cités (la température de l'air ,humidité de l'air, température moyenne de rayonnement, vitesse de l'air, vêtement et activité de l'individu) sont connus, homogènes et contrôlés. Les modèles de confort sont basés sur des sensations de séjours. Dans la vie de tous les jours, cette condition idéale n'existe pas. Les facteurs d'ambiances climatiques ont une distribution spatiale inégale et des fluctuations temporelles souvent imprévisibles. Ces conditions se modifient très nettement en extérieur, nécessitant la prise en compte du rayonnement solaire (direct réfléchi et diffus)et le vent(vitesse moyenne, intensité de turbulence et vitesse de pointe), des situations climatiques extrêmes et des configurations spatiales(liées au facteur de forme), encore la prise en compte du rayonnement thermique '' infrarouge '' des surfaces qui s'échauffent au soleil . De plus, on observe chez l'être humain des phénomènes d'adaptation aux conditions climatiques moyennes traduits par des modifications de l'organisme nécessitant de 20 mn pour une première adaptation (suite aux réactions de déclenchement du frisson ou de la transpiration (17) Nous pouvons aussi relativiser la notion de confort en rappelant que l'aspect stimulant des gradients physiques climatiques tient en éveil les organes de la perception et fait percevoir les ambiances de manières non statique , c'est pour cela que Marie J.P1997

17 Ibid, p5

dans ses travaux de recherche sur la notion de confort dans sa synthèse « Le travail des physiciens doit maintenant être complété et relayé conjointement par celui du psychologue, de l'éthologue, mais aussi du statisticien, de l'architecte et de l'urbaniste » (18). Devant la complexité des phénomènes liés au confort thermique, des travaux de recherche récents ont favorisé l'étude du confort thermique en extérieur(Gandemer et le laboratoire du CERMA à Nantes, Guyot à Marseille et Mille-Chagas à Strasbourg). Ces travaux combinent des approches théoriques de modélisations et d'expérimentations, afin de dégager une méthodologie opérationnelle d'approche pour les effets de l'ensoleillement , la prise en compte du rayonnement solaire s'appuie sur une simulation d'ensoleillement et sur une exploitation de ces résultats sous forme géométrique ou numérique permettant leur représentation et visualisation.

2.7-Les inconforts locaux

Avant de présenter certains indices permettant l'évaluation du confort thermique en extérieur, de nombreux travaux ont défini les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices **.** Nous présentant les indices les plus applicables pour notre cas d'étude qui est la cour dans les édifices publics.

2.7.1-Asymétrie de rayonnement

L'asymétrie de rayonnement est due à des différences remarquables des températures rayonnantes qui entourent l'individu. En milieu extérieur, les asymétries peuvent être observées entre surfaces à l'ombre et surfaces au soleil, entre rayonnement de surface et rayonnement du ciel. Les conditions de confort peuvent varier avec les différents types de paroi de façade (conductance, albédo, couleur , etc. .) , avec leurs conditions d'ensoleillement (orientation, forme, etc.) , ainsi qu'avec leurs conditions internes (chauffage et climatisation etc.). De cela les parois chaudes ou froides entraînent des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. On considère qu'il n'y a pas de gêne si, à

18 Marie J.P ,1997 p81

1m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante orientée vers la paroi opposée ne dépasse pas le 8°C(19) .

2.7.2-Température du sol

Une température de sol trop élevée ou trop basse entraîne un inconfort au niveau des pieds. Une température de sol inférieure à 17°C ou supérieure à 26°C procure un inconfort. Une température optimale de sol est de 23°C pour un individu chaussé debout et 25°C pour un individu chaussé assis, ces résultats restent dépendant de la température de l'air (20) .

2.7.1.3- Gradient vertical de température

Le gradient de l'inconfort local dû à l'écart entre la température mesurée à 1,10m et à 0,10m qui doit rester inférieure à 3 °C (21).

2.7.1.4- Courant d'air

Bien que notre étude est consacrée principalement à l'étude de l'ensoleillement dans la cour intégrée aux édifices publics, le courant d'air est considéré comme une source importante d'inconfort local. Un écoulement à vitesse fluctuante est plus inconfortable qu'à vitesse constante. Une équation relie le pourcentage des insatisfaits, désigné par (

PD) caractéristique du courant d'air (23) :

PD = (34 – Tair) (U-0.05) σ 0.622 (37 . +3.14) (81)
Avec : ta : température d'air,
U : vitesse moyenne de l'air
σ : écart type des vitesses d'air ou turbulence absolue

Ces résultats concernent des individus sédentaires en tenue courante.

---

19 Hoffmann J B 1994 p 45

20 Chemiller P ,1986 p100

22 Ibid, p102

2.8 -Evaluation du confort thermique en extérieur

Pour permettre de quantifier le confort thermique en extérieur, de nombreux indices ont été développés. Une investigation spécifique sur le confort en extérieur aurait pour fonction première de servir d'élément "intégrateur" des différents paramètres physiques des ambiances dans la cour. La recherche s'attacherait, par analogie au confort intérieur, principalement la température d'air, la température de surface, la vitesse d'air. Les échanges radiatifs entre l'homme et son environnement ainsi que l'ensoleillement direct de l'individu devraient pouvoir être assez précisément considérés. Nous présentant les indices les plus applicables en extérieur à notre cas d'étude qui est la cour.

2.8.1- Le taux de transpiration

La variabilité de l'appréciation subjective de l'évaluation du confort est autant individuelle qu'interindividuelle. C'est pour cette raison que la notion de confort a été approchée par celle de la neutralité thermique (23) .Défini à partir de la mesure de deux grandeurs thermo-physiologiques : la chaleur métabolique et la sudation, cette neutralité est représentée par une zone plutôt q'une grandeur ponctuelle, Ainsi Le bilan énergétique de l'individu est exprimé en terme de quantité de sueur nécessaire à évaporer afin de se trouver dans une zone de confort. Cette quantité est elle-même considérée en fonction du lieu et donc de l'activité. Ainsi, une zone de passage est supposée être confortable d'un point de vue thermique, lorsque le taux de sueur est inférieur à 90 g/h. Si l'individu doit rester un certain temps (plus de 15 minutes) le taux ne doit pas dépasser les 60 g/h. Le temps de résidence moyen joue donc un rôle sur le conditionnement à appliquer dans chaque zone. D'un point de vue une zone de passage considérée être confortable d'un point de vue thermique ,lorsque le taux de sueur et inférieur à 90g/h si l'individu doit rester plus de 15 mn le taux de sueur doit

---

23 par définition, à la neutralité thermique, « l 'organisme se met en œuvre ni les processus de lutte contre le froid ou contre le chaud (absence de frisson ou de sudation) ni les mécanismes de régulation vasomotrice »(Berger X 1993)

être inférieur à 60 g/h Norme fixé durant les deux expositions mondiales de Séville en 1992 (24) et de Lisbonne en1998(www.lema.ulg.ac.be.) L'originalité du taux de sueur réside dans le fait d'exprimer le bilan en fonction de la quantité de sueur évaporée(25)

$$E_{rsw} = M - (\varphi_{res} + E_{res}) - (\varphi_{conv} + \varphi_{glo} + E_{dif}) + \varphi_{CL0}$$

E_{rsw} - Evaporation de la sueur régulatrice

M - Métabolisme

Φ_{res} - Densité du flux lors de la respiration

E_{res} - Evaporation lors de la respiration

Φ_{conv} - Densité du flux convectif

Φ_{glo} - Densité de flux par rayonnement GLO

E_{dif} - Evaporation par diffusion perspiration

φ_{CL0} –Densité de flux par rayonnement CLO

2.8.2 -Le PMV et le PMV extensible

- Cet indice est le plus connu et le plus utilisé en thermique du bâtiment Il existe un indice prédictif du nombre d'insatisfaits qui est associé au premier indice. C'est l'indice PMV (Predicted mean vote) : très chaud (+3), chaud (+2), légèrement chaud (+1), ni chaud, ni froid (0), légèrement froid (-1), froid (-2), très froid (-3). La courbe de distribution obtenue par l'indice PPD-PMV est en U. Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD - Predicted Percentage Dissatisfied) donne, en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par

---

24Vinet J,2000, p120

25Ibid , p121

rapport à la situation. Connaissant le PMV, la figure ci-après permet d'évaluer directement PPD. Si par exemple, le PMV est de -1 ou +1, l'indice PPD montre que près de 25% de la population n'est pas satisfaite. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10%, le PMV doit se situer entre -0,5 et +0,5. Et pour une valeur 0 de PMV, soit un état de confort thermique optimal, il y a encore 4% d'insatisfaits.

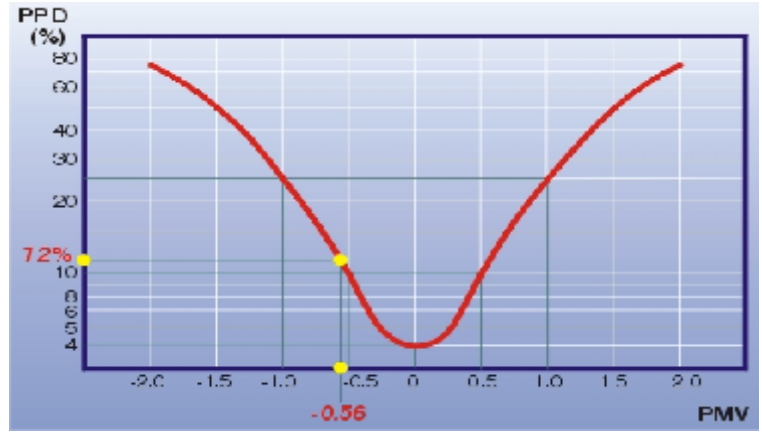


Fig.2.4- Correspondance entre le PPD et le PMV

Source :www-energie.arch.ucl.ac.be

En travaillant sur 1500 personnes, Fanger a établi un indice prédictif, calculé en reprenant l'isolement du vêtement (le Clo), la température, la vitesse du vent, et le niveau d'activité lorsque cet indice est inférieur à 0,5 l'ambiance thermique est

+3	**chaud**
+2	**tiède**
+1	**légèrement tiède**
0	**neutre**
-1	**légèrement frais**
-2	**frais**
-3	**froid**

Tableau :1 -Les échelles du PMV

Source : :www-energie.arch.ucl.ac.be

déclarée agréable par 90% de personnes. Entre 0,5 et 1, l'ambiance thermique est déclarée agréable par 70% des personnes. Entre 1 et 1,5 , l'ambiance thermique n'est déclarée agréable que par 40% des personnes. Enfin à l'indice 2, elle n'est déclarée agréable que par 20 % des personnes. Le PMV a été étendu par plusieurs auteurs, de manière à considérer les apports solaires dans le calcul des votes .Serres (26) donne un exemple de modification du PMV,en considérant un homme debout, dans une ambiance à 27°C et une vitesse d'air de 0.1 m/s .Il obtient pour un flux de 40 W /m² Le PMV serait augmenté de 1.18 l'indice variant de -3 à +3 L'auteur conclut que le flux solaire Modifie de manière conséquente la valeur du PMV.

2.8.3- La température radiante en extérieur

La température radiante en extérieur dépend de l'état d'ensoleillement de l'espace considéré et des rayonnements provenant des différentes surfaces du lieu considéré, y compris celle représentant le ciel . « La température moyenne de rayonnement d'une personne, caractérisée par : une position, des vêtements et une localisation dans un espace donné, elle est égale à la température uniforme d'une enceinte noire fictive fournissant la même quantité de chaleur par rayonnement que les conditions réelles étudiées » (27) .La quantité totale du rayonnement absorbée par le corps humain est obtenue en faisant la somme du flux direct, diffus et réfléchi au flux de longueur d'onde , tous les flux etant intégrés dans la détermination de la température radiante, elle est considérée le principal élément ayant une influence sur le bilan énergétique . Pour des individus restants à l'ombre, la température radiante moyenne est souvent considérée comme étant proche à la température de l'air ambiant (28) .

2.8.4- L'indice DISC

Parmis les indices de stress thermique basés sur la mouillure cutanée et sur le débit sudoral, acteurs physiologiques importants dans les climats chauds, il est possible de citer le DISC. L'inconfort est mesuré sur une échelle allant de 0 à 5 : 0 à la neutralité (celle-ci correspondant à une mouillure 0 qui n'est voisine de 0 qu'au repos et qui

---

27 Serres L,1997, p115

28 Vinet J ,2000 p114

augmente avec le métabolisme), 5 quand la mouillure atteint le point critique .au-delà duquel les mécanismes de thermorégulation cessent d'être efficaces. Des zones de confort (1 : agréable, 2 : légèrement agréable, 3 : désagréable et 4 : très désagréable) ont été estimées par Fauconnier et son équipe, en fonction des variations de la mouillure cutanée et du débit sudoral (29).

Mais l'utilisation de cet indice n'est recommandée que pour les climats chauds et humides

2.9- Conclusion

A travers ces rappels de la notion de confort thermique, est abordée par sa propre définition et par celle de différents paramètres qui interviennent dans son évaluation à savoir les facteurs liés à l'individu et ceux liés à son environnement.Il était important d'insister sur la difficulté liée à la qualification et à la quantification du confort thermique en extérieur, vu que la majorité des recherches liées au confort thermique ont été effectuées à l'intérieur des bâtiments. L'analyse des échanges thermique entre l'homme et son environnement a permis d'aborder le confort thermique en espace extérieur. Un travail de synthèse des indices de confort en extérieur nous a renseigné sur les spécificités de chacun.Quelques indices ont été présentés, mais en général ils correspondent à des résultats d'expériences, modifiés pour être applicables en espace extérieur notamment par l'intégration de la radiation solaire.

Le confort dans les espaces extérieurs et particulièrement la cour reste lié à l'équilibre thermique central du corps, ainsi que la température de la peau et au taux de sudation.

A partir de ces rappels et de ces constats sur les indices, il est envisageable d'utiliser ces différents indicateurs, non pas pour obtenir une réponse exacte à une situation de confort en extérieur mais plutôt pour évaluer l'indice d'une décision d'aménagement. Le microclimat régnant dans l'espace extérieur est un grand porteur d'information sur le confort thermique de l'homme et par la suite la pratique de l' espace vécu, d'ou le prochain chapitre s'intéresse principalement, au facteur ensoleillement et sont implication dans ces espaces.

---

29 Delaunay.D ,2000,p8

3.1-Introduction

Notre objet d'étude s'articule autour de l'homme, le climat et l'espace architectural, qui représente dans notre cas la cour dans les édifices publics. Si dans le chapitre précédent on a traité la notion de confort thermique en extérieur, l'influence des éléments du climat, et plus particulièrement l'ensoleillement ne peut être perçu, sans la connaissance des phénomènes résultants dans l'environnement construit sous ses effets. Le contrôle du rayonnement solaire s'échelonne du tissu urbain, à la simple fenêtre dispensant lumière et chaleur aux espaces intérieurs. Il intègre l'espace extérieur à travers sa configuration géométrique, ses matériaux de construction et son mode d'organisation (1) Il est important de savoir, que le choix des solutions urbaines ou architecturales est lié au confort thermique dans ces espaces. Par contre toute volonté d'introduire une solution exige la compréhension et la dépendance entre les solutions urbaines et architecturales choisies et le microclimat résultant. De ce fait le rôle du concepteur vise à garantir à la fois un meilleur ensoleillement dans les espaces extérieurs et assure un ensoleillement contrôlé dans les espaces intérieurs tout en conservant un niveau de confort agréable. La radiation solaire est effectivement, le principal facteur ou élément du climat à l'origine des microclimats, d'oū elle doit être contrôlée à partir de l'échelle globale et partielle et par conséquent exploitée d'une façon rationnelle à une échelle locale (rue piétonne, cour, espace de jeux, placette etc.).

3.2-La radiation solaire

La radiation solaire est la principale source d'énergie du système terre-atmosphère. Elle inclue à la fois le rayonnement visible, duquel dépendent directement les gains solaires et le rayonnement de grande longueur d'onde qui conditionne les températures des surfaces extérieures. Il est possible de décomposer le bilan radiatif des surfaces, en deux parties dans l'une correspond à la bande solaire(rayonnement de courte longueur d'onde comprenant le visible, bande comprise entre 0.15 et 3.0 µm (Oke 1987) (2) et l'autre aux échanges infrarouges (rayonnement de grande longueur d'onde, bande comprise entre 5 et 100 µm) .Les rayons formants avec la surface de la terre un angle

---

1 Los 1989, p478

2 In vinet , J 2000 p12

inférieur à dix degrés ne sont pas pris en considération, du fait de leur grand affaiblissement au cours de leur traversée de l'atmosphère (3)

Les conditions thermiques ou énergétiques dans l'espace construit liées à la radiation solaire, dépendent de nombreuses variables, à savoir :

-La géométrie solaire

-La géométrie urbaine

-Les caractéristiques des surfaces

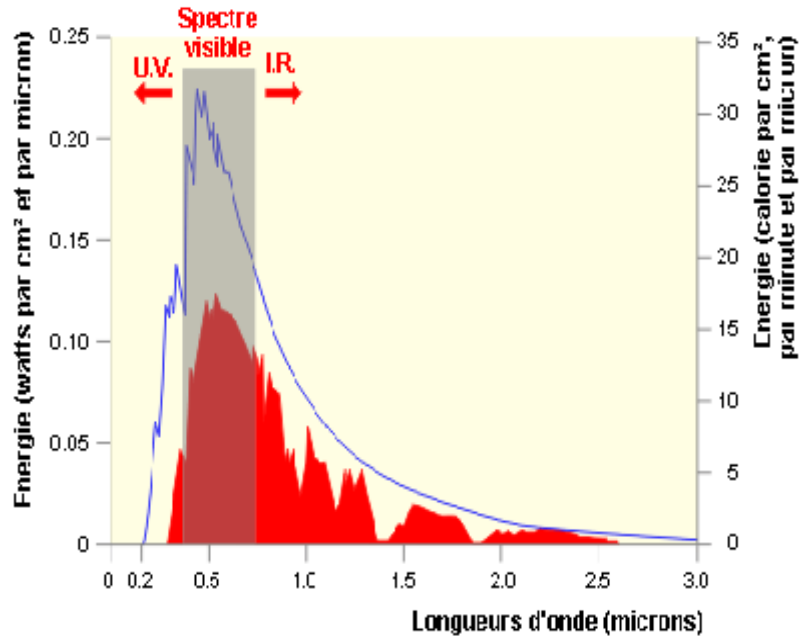


Fig :3.1 décomposition du rayonnement solaire

Source :www-energie.arch.ucl.ac.be

3.3 -Géométrie solaire et radiation

Les principales préoccupations environnementales liées a ce phénomène sont :

L'accès au soleil ou la disponibilité de la radiation solaire dans l'environnement construit et la répartition dans les différents espaces. Cette considération à pour but de permettre

---

3 Twarovski M,1968 p7

des gains passifs de chaleur (ensoleillement) et de lumière (éclairage naturel)à l'extérieur et l'intérieur des bâtiments. L'accès et la protection de la radiation solaire permet aussi de contrôler la situation thermique pré du sol, ce qui influe sur le confort de l'usager de l'espace et de cela l'influence sur l'aménagement végétal ou minéral de ces espaces. La radiation solaire est liée directement à la position et la hauteur du soleil, qui est donnée par la latitude la période de l'année et l'état du ciel : clair ou semi-couvert. La latitude définit la longueur du jour et donc le nombre d'heure d'ensoleillement et l'intensité de la radiation solaire, l'état du ciel régit la nature de la radiation, directe ou diffuse et par conséquent l'ensoleillement des espaces. Tous ces facteurs ont été identifiés comme déterminants dans les proportions et les quantités d'irradiations résultantes. Les latitudes comprises entre 20° et 40°sont caractérisées par une grande hauteur l'été, ce qui permet une grande exposition des surfaces horizontales, ceci signifie que le choix de la forme de l'espace et le profil est d'une grande importance.

De ce fait ces critères sont importants dans la détermination du taux de disponibilité de la radiation dans l'environnement construit et de son mode de répartition sur les surfaces et par conséquent son influence direct sur les accès au soleil .Comme ils sont importants dans la définition de la capacité d'absorption et de réflexion de la radiation solaire. :

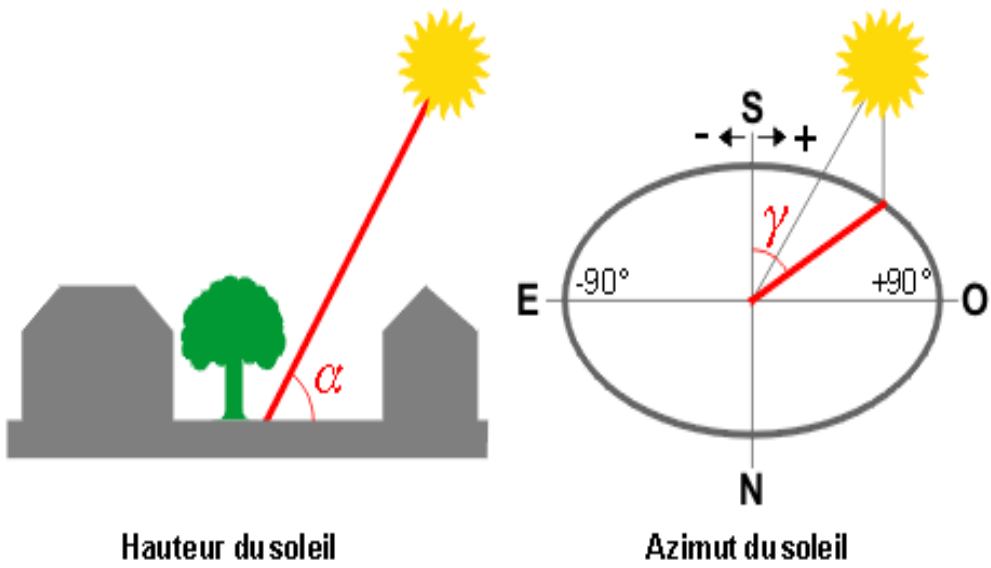


Fig :3.2 Les coordonnées solaires

Source :www-energie.arch.ucl.ac.be

3.4- Implication de l'ensoleillement dans l'environnement construit

L'énergie fournie par le soleil - gisement solaire – est à la fois abondante, naturelle et gratuite ; dans un environnement construit en interaction avec le bâti, elle crée des effets complexes et connaît des modifications et engendre différents microclimats. Elle est définie comme suit :

« L'ensoleillement est défini comme l'ensemble des interactions entre la lumière naturelle, dans sa composante directe, et l'environnement construit. Ces interactions se manifestent sous la forme de taches d'ombres ou de soleil sur les surfaces composants l'environnement. L'énergie fournie par une tache est fonction de sa surface de l'angle d'incidence du rayon solaire instantané en chaque point du temps d'exposition au soleil et du matériau exposé (transmission, réflexion et absorption » (4)

En effet dans les milieux arides ou semi-arides ; basses latitudes ; le soleil etant très haut ce qui permet une intrusion des rayons solaires dans les tissus urbains et espaces extérieurs. Cela contrairement aux hautes latitudes oū le soleil est rasant, donc moins capté par les surfaces horizontales urbaines. Cette aspect fait que les surfaces horizontales dépendent de cette hauteur, donc le sol et les toitures étant des surfaces réceptrices, sont les plus exposées au rayonnement solaire quand le soleil est haut, ce rayonnement est émis à ces tissus et aux matériaux qui les constituent sous formes de courtes longueurs d'ondes, ces matériaux absorbent ce rayonnement puis le remettent à leur tour sous forme de grandes longueurs d'ondes.

D'autre part le rayonnement solaire est perçu par notre peau comme de la chaleur et par notre vue comme de la lumière, du point de vue des ambiances**,** cette dynamique est généralement abordée par la notion de confort.

. L'ensoleillement joue un rôle différent suivant les situations. Donc une approche particulière prend l'ensoleillement dans son contexte énergétique et géométrique « On peut scinder en deux parties les savoirs inhérents au soleil : il s'agit de notions particulièrement géométriques sur le soleil 'géométrie du soleil ' d'une part et des notions énergétiques d'autre part, ……de même q'une analyse thermique ne peut se

---

4 Daniel S, 1997, p 41

concevoir indépendamment d'une analyse géométrique. » (5)

3.4.1Contrôle de l'ensoleillement à l'échelle urbaine

L'accès au soleil est la préoccupation majeure d'adaptation climatique dans les tissus urbains. La principale difficulté réside dans la diminution du potentiel de radiation solaire due à la proximité des bâtiments et aux effets d'obstruction au soleil qu'ils peuvent créer. Les rayonnements solaires créent des effets complexes en interaction avec le milieu construit. Ils connaissent d'importantes modifications de leurs propriétés et engendrent des microclimats Ces effets dont la compréhension joue un rôle prépondérant dans la conception des espaces intérieurs et extérieurs.

3.4.1.1-Les effets thermiques dans les espaces découverts

Pour assurer le confort de l'individu dans les espaces extérieurs et plus particulièrement la cour cela exige la compréhension entre le type d'espace et le microclimat résultant

Avant d'entamer l'étude des effets thermiques sur les espaces découvert il est important de connaître le bilan radiatif reçu par le sol. Ce dernier peut s'écrire

$$R_N = (1 - \alpha_{sol}) \downarrow (S \sin h + D_H) - L \uparrow$$

Avec :

α sol :Albédo solaire

S : Radiation solaire directe

H :Hauteur angulaire solaire

D :Radiation solaire diffuse

L :Rayonnement vers la voûte céleste

Les conditions climatiques dues à l'ensoleillement dans les espaces ouverts ou extérieurs sont classés en quatre catégories

- Les espaces isolés

5 Mazouz S ,.2004 p143

- Les espaces formés par un sol horizontal un plan vertical « effet de dièdre »
- Espace limité par deux plans ou parois verticales très proches « effet canyon »
- Espace couvert

3.4.1.2 Les espaces isolés (sans obstacles)

Tout espace isolé ou dégagé, non bordé, non protége, ni par des masques environnementaux, ni par des masques végétaux, subit de l'énergie sous formes de radiation directe et diffuse. La
température du sol dépend de l'albédo donc on peut estimer l'énergie reçue par l'espace suivant la relation :

$$E_R = e\, E_m$$

E_m - Energie maximale reçue sans masques

e - Albédo

Mais si la partie réfléchie du rayonnement solaire incident, ne participe pas à l'échauffement de la surface du sol, du point de vue confort elle constitue un apport radiatif pour l'usager. La nuit l'espace dégagé présente l'avantage de l'émission rapide du rayonnement de grande longueur d'onde (rayonnement infrarouge vers la voûte céleste.)

3.4.1.3-Effet de dièdre

Les effets radiatifs solaires, dépendent des répartitions spatiales entre les zones ensoleillées et les zones ombrées. Différents scénarios peuvent être rencontrés, avec notamment des zones ensoleillées contiguës, responsables d'effets de renforcement (effet de dièdres ou de doubles dièdres). Cette effet de dièdre est dû lorsqu'une surface horizontale est interrompue par une surface verticale ce phénomène est très présent pour la cas de la cour, il a une grande influence sur le du confort de l'usager , etant donné qu'il est soumis à des triples réflexions, le rayonnement solaire global

(direct et diffus), ainsi que le rayonnement réfléchi par le sol et par la paroi opaque. Pour ce qui est du refroidissement nocturne, il se produit plus difficilement que pour le cas du sol isolé(sans obstacles à l'ensoleillement.)

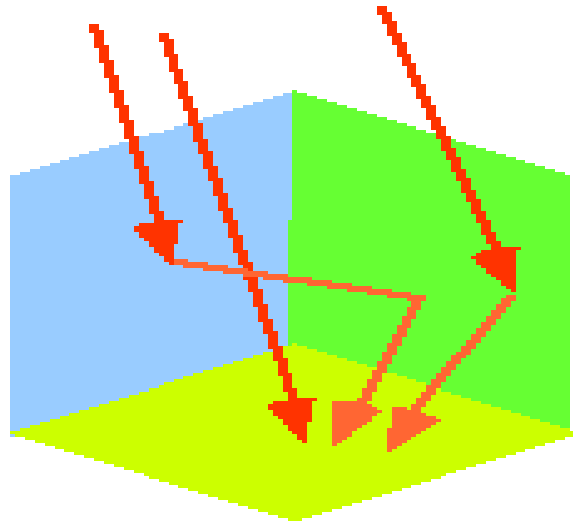


Fig : 3.3- effet de dièdre

Source : Izard J l 1998 (6)

3.4.1.4-Effet canyon

Il s'agit d'un espace étroit et profond oū le soleil ne parvient à pénétrer que lorsqu'il se présente dans l'axe longitudinal (orientation Nord-Sud) du canyon. En effet, pour l'autre orientation il est plongé dans l'ombre toute la journée. Par contre en été il est considéré comme confortable surtout la journée, vu que le sol ne reçoit presque pas la radiation solaire directe puisqu'il présente des températures stables. Pendant la nuit la restitution de la chaleur vers la voûte céleste du rayonnement à grande longueur d'onde s'effectue très lentement vue son ouverture au ciel très faible.

---

6 In PLEA juin 98

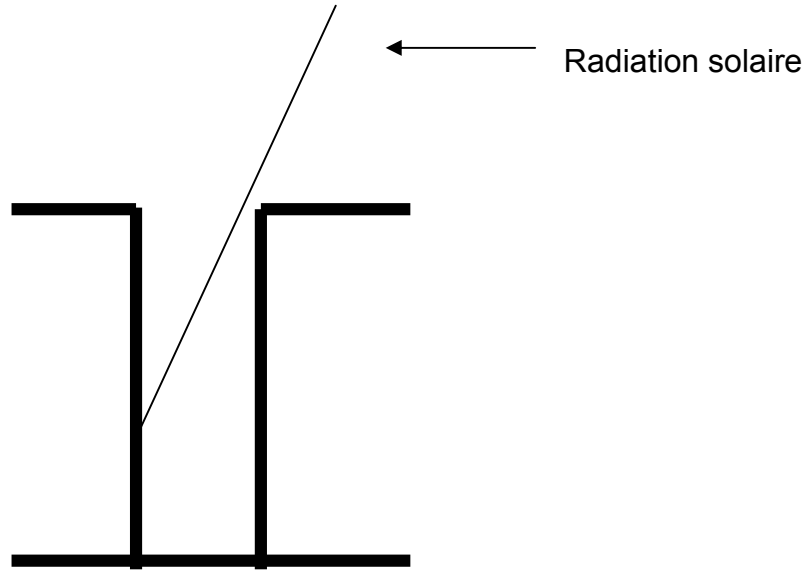


Fig : 3.4 Effet du canyon

Source : L'auteur

Pour le cas ou le soleil parvient à pénétrer. Les vides entre bâtiments qui résultent de cette présence produisent des effets physiques spécifiques qui ont des répercussions considérables à l'échelle locale et microclimatique. Parmi ces effets le phénomène de piégeage radiatif et la stagnation de l'air. Le vide créé est conceptualisé sous le terme « Canyon urbain ».

L'implantation des bâtiments induit une déformation de la surface plane qui provoque le phénomène de piégeage radiatif qui concerne à la fois les rayonnements solaires et les rayonnements de grandes longueurs d'onde provenant du sol en direction de l'atmosphère (fig.3.5).

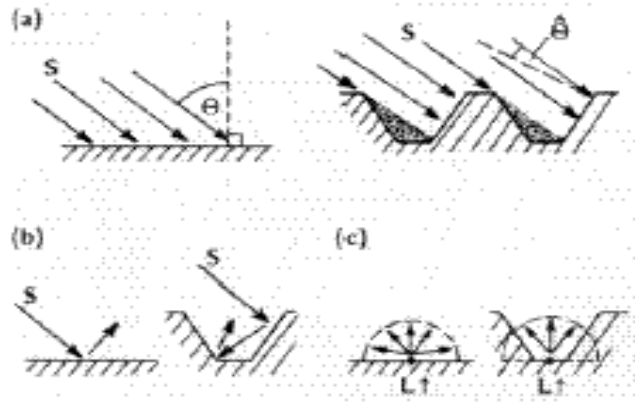


Fig : 3.5 Rôle de la géométrie de surface dans les échanges radiatifs.

Source : OKE 1988 , p 103

Le piégeage consiste en la réflexion des rayonnements reçus par une surface, qui au lieu de se diriger vers l'atmosphère comme dans un cas surface plane, il est au contraire réfléchi une deuxième fois, voire plusieurs, par les surfaces voisines avant de se diriger vers l'atmosphère.

Ceci augmente les chances d'absorption .D'un autre côté les émissions thermiques du sol sont assez réduites du fait de la réduction du facteur de vue du ciel. Pour tous les points du sillon appelé « canyon » le facteur de vue du ciel est moins que l'unité, puisque la vue totale de l'hémisphère du ciel est obstruée par les autres faces du canyon. Ainsi le piégeage des rayonnements solaires durant le jour tant à augmenter la température des espaces

3.4.1.5-Espace couvert

Ces types d'espaces regroupent les espaces couverts par la végétation ainsi que les espaces couverts en dur (les sabbats, les passages couverts etc..) .Ces espaces bénéficient d'une protection contre le rayonnement solaire .Cet avantage permet à ces espaces de baigner dans la fraîcheur toute la journée . L'espace couvert par la végétation que, le contrôle des facteurs d'ambiances climatiques doit être obtenu quelque soit la période de l'année par un bon choix du type végétation persistante ou de type caduque .Si ces espaces présentent l'avantages d'être confortable durant la journée, ils présentent un inconvénient formé par la dissipation très lente de la chaleur ;rayonnement infra-rouge ; vers la voûte céleste durant la nuit

Fig :3.5- Espace couvert par la végétation

Source : Izard J l 1994

3.4.2-L'ensoleillement et solutions urbaines

La structure de certaines villes dans les régions arides et semi-arides, constitue la première étape d'adaptation au climat ;la protection des radiations solaires intense ; commence à cette étape , les rues sont étroites et profondes et parfois entièrement couvertes ,projetant de l'ombre et créant des espaces frais, « ces passages couverts constituent des relais piétons, peuvent alors s'y recueillir avant de poursuivre leur chemin sous un soleil torride **»** (7) l'orientation est dans la plupart des cas suivant l'axe Nord-Sud ce qui permet l'accolement des constructions du coté Est et Ouest ,cette orientation permet la protection des surfaces exposées au soleil durant le matin et le soir , suivant une étude faite par ,Arbaoui A ,1998 une différence de température allant jusqu'à 5°C a été constatée entre un espace ouvert et une agglomération à forte densité . Les meilleurs exemples se trouvent à Constantine, Ghardaïa ,Touggourt , Tunis ,Marrakech etc. Cependant lorsque la construction est isolée il est essentiel que le rapport du volume construit à la surface d'enveloppe soit le plus élevé .(fig.3.7)

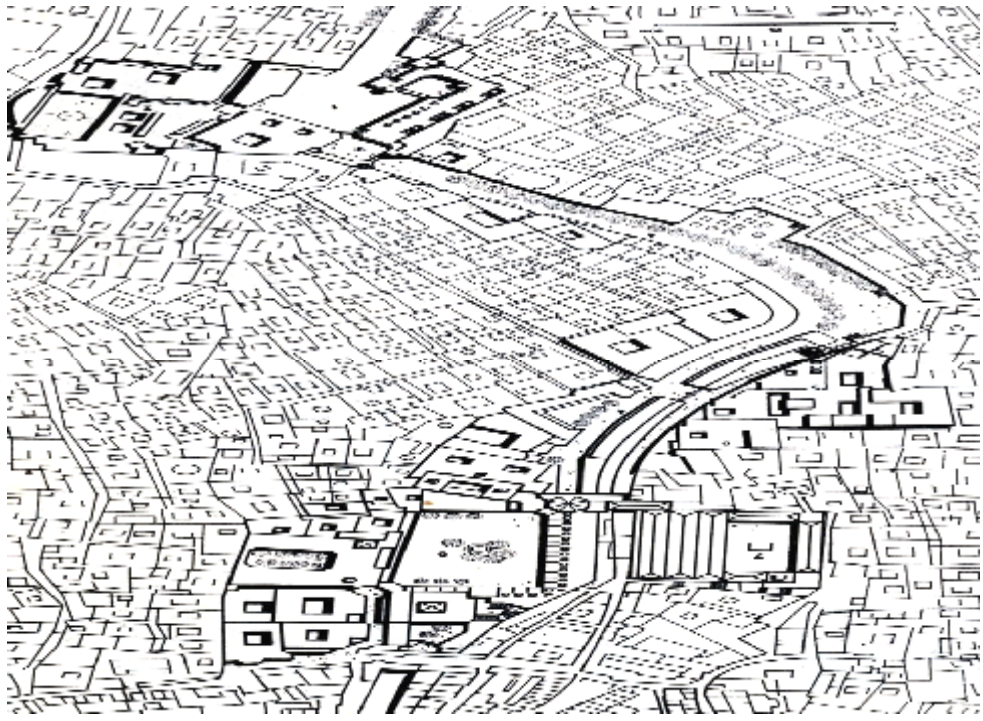


Fig.3.7 tissu compacte à Marrakech

Source : The arab city ,1982,p5

---

7 Benadji A ,1999, p 36

3.4.3-la forme du bâtie et la radiation solaire

Afin de déterminer le rôle que peut jouer la géométrie des bâtiments dans l'ensoleillement des espaces construits et espaces libres, plusieurs travaux ont fait l'objet d'étude dont le but est de concevoir et de déterminer la relation entre la forme urbaine et répartition de la radiation solaire sur les surface bâties et non bâties. Dans ce sens on peut citer plusieurs travaux tel que: Los .S (1981) et Markus.T.A(1980) .Dans ces cas, la mise en ensoleillement passe par la manipulation des formes caractéristiques en général le type l'îlot(cour) , la barre et la tour .

Dans le même objectif nous présentons une étude faite par Steemers et al (1996)

Dans le but de savoir la meilleur occupation par les bâtiments, plusieurs formes et dispositions ont été choisies pour maintenir la densité d'occupation constante, le rapport entre surface bâtie(au plancher) et non bâtie à été conservé constant , les chercheurs ont opté pur trois choix de formes différentes, à savoir ,le type tour, le type îlot (cour) et le type barre choisi suivant deux orientations ; Est-Ouest et une autre orientation Nord-sud .L'étude a été faite par simulation pour comparer la radiation solaire incidente elle a été calculée pour les parois verticales ,pour sol et enfin pour l'ensemble de l'enveloppe des trois échantillons choisis. L'albédo des murs à été pris pour 40% et 20% pour le sol. Les conditions de simulation ont été résumées dans le tableau (3.1)

A partir de ces recherches il a été conclu ce qui suit :

-Que l'influence de la radiation solaire intervienne à toutes les étapes de la mise en forme du projet et qu'à l'échelle urbaine ,la radiation solaire possède une forte autorité sur la manipulation des formes urbaines et doit satisfaire de subtils compromis entre les intentions d'ensoleillement , et la répartition du bâti.

-Le choix de la forme ,répartition sur le sol , influe d'une façon directe sur la répartition de la radiation solaire d'un même bâtiment à savoir sur les parois verticales et la toiture et d'autre part entre le bâtiment lui même et le sol cela veut que l'influence de la radiation est primordiale tant pour l'intérieur que pour l'extérieur .

Par comparaison des différentes formes, la tour favorise le captage de la radiation solaire sur les murs et l'îlot sur les toits . la disposition tour reçoit la plus grande quantité de radiation incident vue l'importance des surfaces verticales exposées sans ombre ,tandis que la disposition en forme cour reçoit le plus grand pourcentage de radiation

sur les surfaces dont plus que la moitié sur les toits .l'îlot capte moins de surface sur les parois verticales vu leurs obstructions partielles

La manipulation des formes des constructions et leurs dispositions conditionne l'espace libre, et par conséquent une influence directe sur l'ensoleillement des espaces extérieurs et intérieurs. Les résultats concernant l'irradiation au sol ont le plus grand taux pour la disposition tour vu que l'emprise au sol est faible .Cependant la disposition en îlots (cour) enregistre le meilleur pourcentage d'exposition du sol par unité de surface ce qui veut dire, que si les tours permettent l'exposition d'une surface plus étendue, pour ce qui est pour la durée d'ensoleillement, elle est plus grande pour le type îlot (cour).

Pour conclure il est à remarquer que la disposition de type barre (allongée) est la forme la plus affectée par l'orientation vu que les surfaces exposées présentent le plus grand écart . Par contre les autres dispositions sont moins affectées par l'orientation. Voir tableau (3.2)

.Cependant il est à remarquer qu cette étude reste incomplète vue qu'elle considère l'évaluation annuelle de la radiation solaire ,d'ou elle est bien moins évaluée, vue aussi la non considération des variations saisonnières .

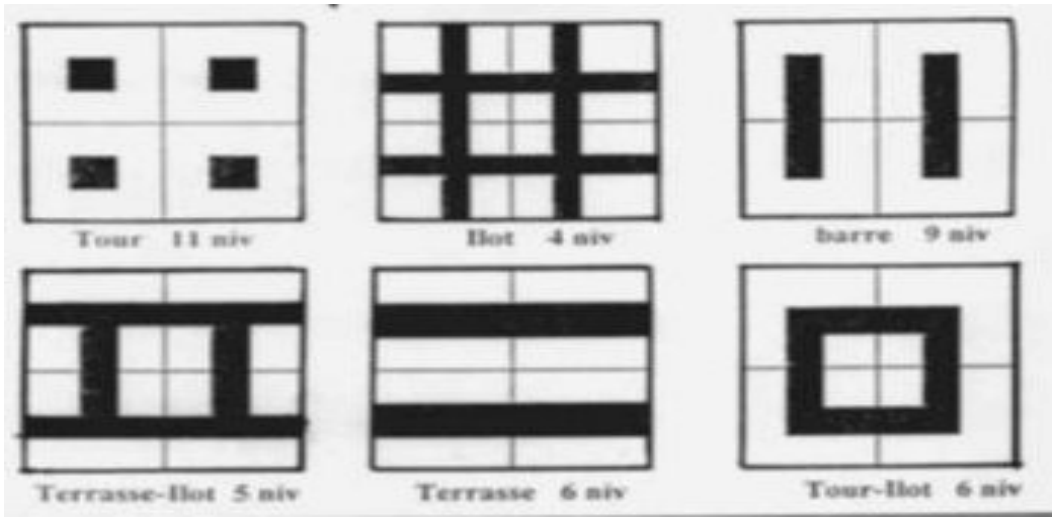


Fig :3.8–Formes bâties choisies pour l'évaluation de la radiation solaire

Source : Steemers, et al. 1996(8)

---

8 Cité par Ali Toudert , F,2000 p 94

Conditions de simulation
Latitude 52°
Orientation : N.S – EO
Période : annuelle
Radiation :directe et diffuse

Tableau 3.1 : conditions de la simulation

Source : Steemers, et al. 1996

Forme(Type)	Toutes les surfaces du bâtiment	Surfaces verticales	Sol uniquement	Total (bâtiment +sol
- Tour	6.79 91%	5.35 100%	6.88 100%	13.67 100%
- Bande E-O	6.17 83%	4.56 85%	6.55 95%	12.72 93%
- Bande N-S	5.89 79%	4.28 80%	6.17 90%	12.06 88%
- îlot (Cour)	7.48 100%	3.65 68%	5.22 76%	12.70 93%

Tableau 3.2 :Comparaison de la radiation directe (annuelle)pour trois dispositions donnée en TJ

source : Steemers et al 1996 (9)

9 Ibid p 96

3.4.1- Dispositifs de contrôle de l'ensoleillement et solutions architecturales

Plusieurs études ont été consacrées aux manipulations des formes urbaines afin de satisfaire un subtil compromis entre la forme architecturale et le contrôle de l'ensoleillement , un panorama complet de propositions faite en ce sens par les théoriciens de l'architecture à travers l'histoire dressé parmis ces solutions celles proposées par H.Sauvage conciliant l'îlot urbain et l'ensoleillement par ses immeubles en gradins voir fig.(3.9) .Il existe une infinité et diversité de ces formes et dispositifs liées au contrôle de l'ensoleillement qui sont en fonction du climat local, des modes de vie et d'usage de la construction des techniques constructives et des matériaux disponibles etc. . .Une étude détaillée des prototypes de contrôle de l'ensoleillement proposée par (Lam WM C ,1986)voir fig.(3.10)

3.5 Les caractéristiques des surfaces

Les propriétés des matériaux rentrant en interaction avec la radiation solaire et conditionnent l'ambiance thermique extérieure ,et ainsi le confort de l'usager sont les suivants :

3.5.1- L'absorption

Appelé aussi « absorptivité » ,elle représente la quantité de rayonnement solaire ,qu'absorbe une unité de surface d'un matériau par rapport à la quantité de rayonnement qui arrive sur cette unité .Ce facteur peu varier de 0 (surfaces réfléchissantes)à 1 (surface parfaitement absorbante).

La couleur d'une surface donne ne bonne indication de son facteur d'absorption pour le rayonnement. solaire .Ainsi un peinture claires et obscures possèdent de facteurs d'absorption du rayonnement solaire totalement différents et une surface noire s'échauffe beaucoup plus pendant une exposition au soleil (10)

---

10 Liébard A , tome 1, 2002 p12

3.5.2- La réflexion

Appelé aussi ‘’réflectivité ‘’ ou ‘’ réflectance ‘’elle est complémentaire du facteur précédent pour les matériaux opaques, ce facteur varie aussi de 0 (surface parfaitement absorbante) à 1 (surface parfaitement réfléchissante)

3.5.3- L’éméssivité

L’éméssivité d’un matériau (e) à la même valeur que son facteur d’absorption (α)si les deux valeurs sont prises pour une énergie à la même longueur d’onde. Toutefois, lorsque l’énergie est absorbée par un matériau quelconque, sa longueur d’onde est augmentée légèrement , cela veut dire que la radiation absorbée à une longueur d’onde sera remise à une autre

Un matériau, ayant une forte absorption aux courtes longueurs d’ondes et une faible éméssivité aux longueurs d’ondes plus longues constituera un piége à énergie .l’éméssivité des matériaux prend en générale la valeur de 0.9 elle est sans unité

Source : ONRS 1983

Fig3.9-Ilot et immeuble en gradins de Sauvage H.1928

Source Siret D ,1997 p48

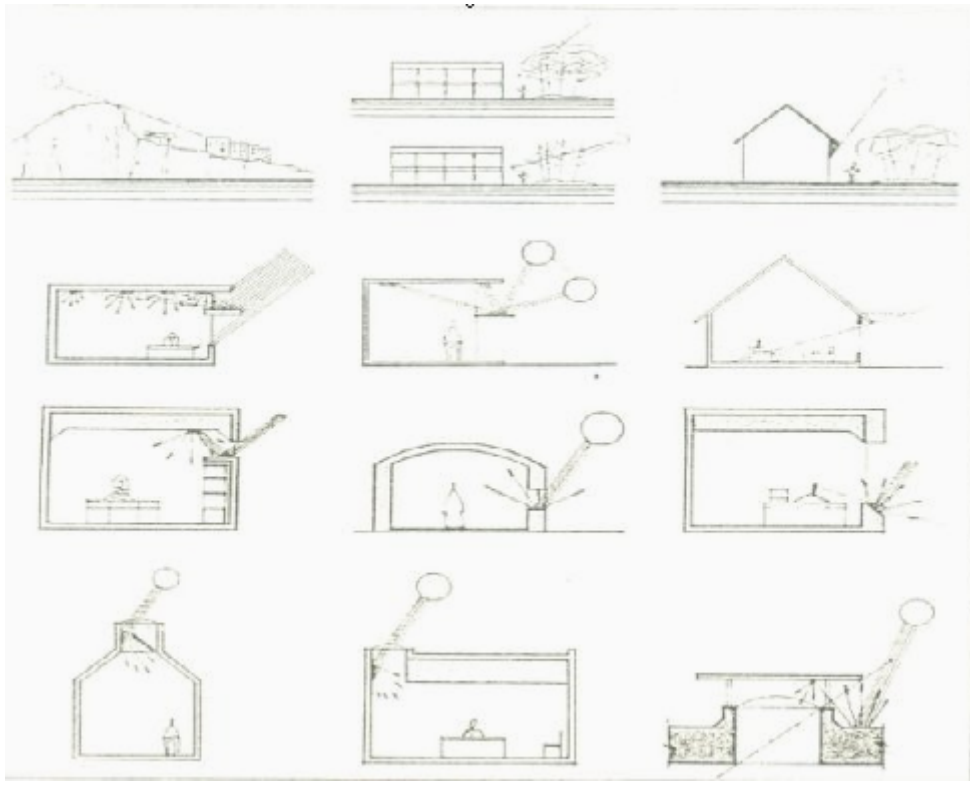


Fig.3.10 Dispositifs de contrôle architectural Lam WMC ,1986

Source Siret .D ,1997, p50

3.6- Conclusion :

Ce chapitre constitue une orientation pour la bonne compréhension des caractéristiques de la radiation solaire ainsi que son interaction dans les milieux construits. Aussi Il nous a permis d'étudier le comportement des différents espaces extérieurs, face aux phénomènes produits par l'interaction entre ces espaces et la radiation solaire, ainsi une bonne maîtrise de touts les dispositifs liés au contrôle de l'ensoleillement qui s'échelonnent depuis l'espace urbain jusqu'aux simple dispositifs de contrôle de l'ensoleillement dans le bâtiment, ainsi que les phénomènes liés aux matériaux de construction en rapport avec la radiation solaire. touts ces dispositifs seront un outil important dans l'analyse du microclimat dans notre cas d'étude soit la cour dans les édifices publics.

4.1- Introduction

Ce chapitre s'intéresse au sens architectural de la cour, ainsi qu sa vocation spatiale en précisant les aspects conceptuels, fonctionnels et formels qui la distinguent.

Selon l'encyclopédie de l'Architecture (1) le mot 'cour ' est un mot qui vient du latin 'cortis 'ou 'curtis ' dont la signification est enclos puis cour intérieure.

En italien le mot cour est nommé 'Cortile' qui veut dire cour . De même dans le latin classique 'cohortem' d'où vient 'hortus', qui veut dire jardin ou lieux planté de végétaux . En anglais ce sont les mots ''yard Garden'' qui désignent les enclos d'ou on désigne par cour-yard qui veut dire cour (2) .

Très souvent le terme 'cour ' est utilisé à la place du patio et vice-versa, pour mieux comprendre les similitudes voir la différence, il est nécessaire définir chacun des deux espaces .

Une définition est donnée par le grand dictionnaire Hachette ,2001.

- « Le patio est une cour intérieure d'une maison, plus souvent découverte ».

Pour s'approcher des origines des mots il est important de revenir aux anciens ouvrages.

-Dans l'encyclopédie du XX éme siècle le patio est défini comme suit : « Mot d'origine espagnole qui signifie cour intérieure d'une maison » . Par contre le mot cour est défini comme suit :

« La cour est un espace découvert entourée de bâtiments ou de murs et dépendant d'un édifice ou d'une propriété bâtie » (3) L'appellation du patio par référence à 'cour' est d'origine espagnole

Patizeulo = Patio = petite cour ou courette (4)

- D'après ces définitions , en générale le mot cour désigne un espace à grand échelle tel que le cas de la cour intégrée aux grands édifices publics ou privés tandis que le patio se limite aux maisons et petites habitations.

- malgré que dans certains ouvrages on continue à utiliser la même appellation pour le même espace pour cela il est indispensable de définir et de mettre des critères qui

---

1 Grande Encyclopédie du XX eme siècle tome 3, siècle .1817 p34

2. .origine du mot cour yahoo .fr

3 Ibid p 35

4 étymologie ,origine du mot hortus htm.yahoo.fr

peuvent plus ou moins définir clairement ces deux espaces.

Il est à remarquer certains ouvrages tel que le sixième livre de Vitruve le mot latin 'Atrium' est utilisé pour désigner la cour (5) . La cour centrale non couverte à portique désigne dans les édifices romains 'Atrium' voir fig. (4.1) ce terme est réservé aujourd'hui aux espaces couverts par une verrière.

Par contre l'Atrium romain désigne un espace découvert entouré de péristyles grecques(types de colonnades grecques) au centre on trouve en général un grand bassin pour la collecte des eaux pluviales appelé ''Impluvium''

4.2 - La cour et le patio concepts et critères

La différence des deux concepts cour et patio restent entre l'objectivité et la subjectivité, parce que si en évoque les deux espaces cour et patio, sont deux expressions, avec leurs nuances formelles, spatiales et dans certains cas locales. Ils sont souvent confondus ou traités comme des variantes d'une même définition, mots utilisés souvent sans distinction, auxquels on octroie le même sens. Pourtant ces deux espaces déclinent bien deux manières de les concevoir de les vivre et de les investir, deux façons d'apprivoiser l'extérieur**.**

Si ces deux espaces, sont d'une signification commune par leur microclimat, par leur configuration, par leur convivialité, et si on retrouve toujours la même vocation de confiner un morceau d'extérieur et de le rendre particulier, pour nuancer cet écart, parfois très subtil, parfois très net qui existe entre cour et patio. On retrouve certains aspects qui déterminent et renforcent ces différences :

- l'échelle qui déforme autant les matérialités (corps du bâti, bâtis/individus,)
-la position parfois décentrée de la cour par rapport au bâti
- la présence d'une clôture (c'est-à-dire l'absence de la continuité du mur)
- L'ouverture et la fermeture de l'espace par rapport à l'extérieur
- et finalement le traitement de cet espace, du point de vue de sa composition comme de sa texture.

Le patio , et un fait méditerranéen par excellence, Par sa qualité vitale (lieu d'activités artisanales et rencontres) et son exubérance n'a besoin que d'une entré sur la

---

4 Perrault ,1988

façade, tout est condensé vers l'intérieur, et que par sa centralitée géométrique, dimensionnelle et topologique (6) il ordonne le bâti entre le dedans et le dehors, et des fois entre le masculin et le féminin , il est la continuité plastique, puit de vie ,espace à habiter , en général dans une maison, espace intime strictement social, il est fréquent que cet espace accueil les activités aussi bien artisanales , commerciales ou productives .On peut concéder la dénomination de patio à l'espace appelé comme tel dans la maison d'origine "arabo-musulmane" et les médinas .Dans tel espace le patio désigne le centre et le cœur du logement et de la vie familiale .c'est un mot sans synonyme .Avec ses proportions, ses dimensions c'est un espace à l'échelle humaine . Bien que parfois , d'un point de vue morphologique et même fonctionnel , la cour soit très prés du patio, la cour est généré par le bâtis, elle peut être limitée par les différent corps de la construction ou de l'édifice comme elle peut être limité partiellement par le bâti et la clôture .La cour est l' espace extérieur confiné . Une cour dans un édifice est à la fois un geste d'apprivoisement et de délimitation d'un espace ayant à la fois un sens intime et sécurisant elle peut se répété dans le même bâti . la cour permet d'extériorisé l'espace intérieur, la centralitée n'est pas exigée **.**Comme la cour peut dans plusieurs cas peut être juxtaposée à la construction elle s'additionne à la construction ou chacun pouvant théoriquement exister par lui même pour créer l'unité duale , *intérieur /extérieur* **.**

4.3- La vocation spatiale de la cour

Les premiers exemples des édifices à cour existaient depuis le 3ème millénaire AV-JC , elles étaient présentes dans les édifices de l'antiquité égyptienne fig. (4.2) , on les trouve dans les édifices romains entouraient de péristyles grecques. Dans son sixième livre, Vitruve cite les différents types de cour existants à l'époque romaine (perault.c,1988) voir fig.(4.3).

---

6 Abdulac , S et al 1973 p8

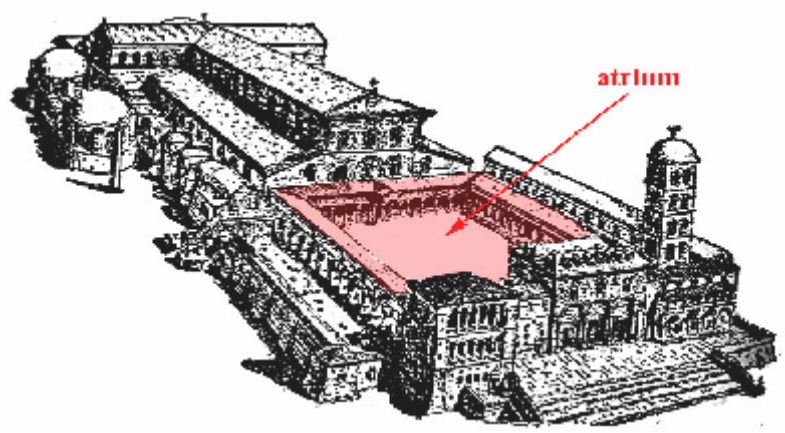


Fig : 4.1 L'atrium romain dans un édifice public

Source urba-gloss-1995

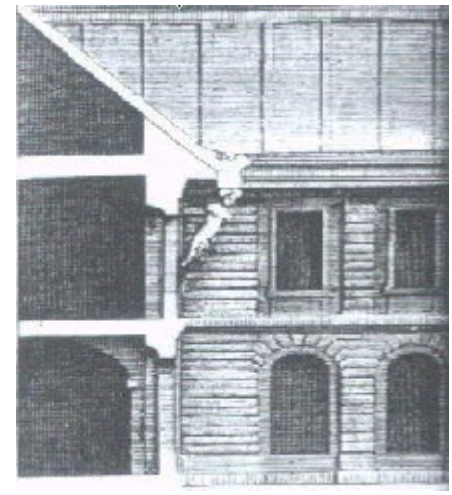
Fig:4.2 Cour Ramsès III à Louqsor lieu Karnak

Source : inecula. ouvre .com.

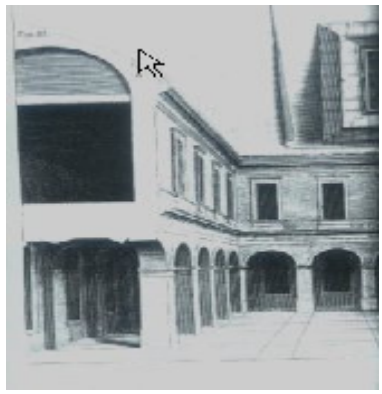
La cour découverte

La cour corinthienne

La cour toscane



La cour tétrastyle



La cour voûtée

Fig : 4.3 différentes cours à l'époque romaine

Source : Perault C,1988

Très souvent dans un même édifice il y a plus d'une cour, dans les palais on trouve la cour principale ou cour d'honneur, la cour des dépendances la cour de l'écurie etc.. Mais la principale porte assez souvent le nom du palais, ainsi la cour du Louvre , la cour de Farnèse la cour de Borghèse en Italie etc.…Dans les établissements consacrés à l'enseignement , les cours portent aussi les différents noms suivant l'age des élèves auxquelles elles servent de lieu de récréation, ainsi cour des grands, cour des moyens ,cour des petits, cour des minimes (7). Les ministères ,les édifices d'utilité publique, les casernes, les hôpitaux, les prisons offrent aussi, suivant la disposition de leurs différents services, un certain nombre de cours qui tirent leurs noms de la destination même des bâtiments qui les entourent et qu'on appelle cour de l'administration , cour de l'intendance, cour des bureaux, cour de l'infirmerie ou cour des prisonniers. Les cours tirent aussi leurs noms d'une oeuvre d'art, d'un arbre ou d'une particularité de leur décoration, tel que la cour des lions à Alhambra de grenade ,la cour du mûrier à l'école des beaux arts de Paris, la cour des orangers a la grande mosquée de Cordoue en Espagne ou la cour de marbre au palais de versaille en France , elle tire aussi son nom de l'endroit et de ses particularités cour de belvédère au Vatican (7).

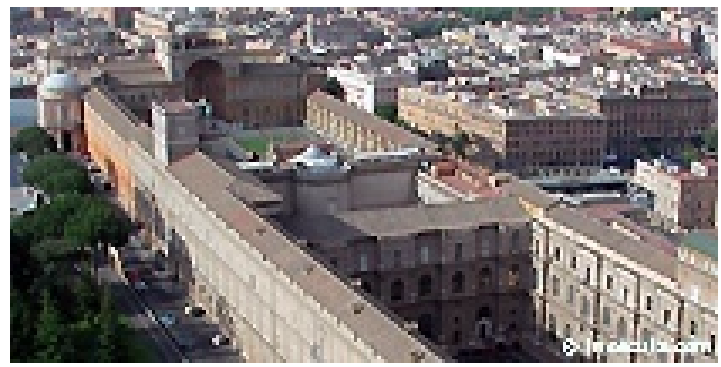


Fig : 4.4 cour au Vatican

Source :www.inecula.ouvre.com.

-De nos jours la cour est intégrée à un grand ensemble d'édifices publics, elle est souvent l'ouverture d'une architecture fermée, elle confine un espace extérieur et le

7encyclopédie du xxéme siècle de l'architecture tome 3 1917, p36

8 Ibid p37

rend particulier. Elle se prête à différente conception, et offre aux publics un maximum de confort et commodité et elle sert souvent de place publique . Dans son livre les espaces urbain Krier R (9) la cour est comparée à la place publique.
Dans certains pays à climat froid, on adoptée à la cour une couverture et cela dans le but de profiter aux maximum du rayonnement solaire est l'espace est connu sous le non de l'Atrium .

4.4- La cour et aspect de l'espace

Parmi les conséquences de l'architecture et l'urbanisme moderne plusieurs espaces publics ont pris naissance, ce qui a conduit à un certain mélange entre le public et le privé, ce qui fait que le mot 'cour 'ne peut être perçu ou défini que s'il se trouve lié à d'autre mots de cela, on parle des fois de la cour intérieure, de la cour urbaine et d'autres fois de la cour extérieure, donc il s'avère indispensable de définir chacun des trois mots déjà cités.

- Cour extérieure :

On désigne par cour extérieure ,un espace libre situé sur le même lot que le bâtiment principal ,ouvert sur un coté et ferme sur les autres cotés (10)

- Cour urbaine :

-Il s'agit des espaces, résidentielles dans lesquelles l'automobile peut pénétrer mais à vitesse très réduite .Le aménagements favorisent l'usage de l' espace pour les enfants ,les cyclistes ….donnant la priorité aux fonctions statiques (jeu, stationnement) plutôt que dynamique (circulation) (11)

---

8 Krier 1975 p19

10Règlement d'urbanisme 1981

11 urba- gloss –1995(Consulté le20 /01/2004)

4.5 - Les différentes fonctions et avantages de la cour

En plus de la valeur esthétique que génère l'introduction d'une cour dans un édifice, à quoi sert-elle vraiment ? En d'autres termes, quelles sont les raisons qui motivent les architectes à l'introduire comme élément constitutif dans un projet ? Cette question renvoie directement aux fonctions que remplit un tel espace. Elles sont de plusieurs ordres : esthétique , sociale, psychologique , contrôle thermique etc.

Les différents rôles et fonctions que peut jouer la cour nous permettent de définir les concepts spécifiques à l'appréhension de cet espace.

Le concept cour à été véhiculé à travers les différents âges dans le monde , est devenu une caractéristique importante de l' architecture contemporaine , il est à savoir que la complexité et la diversité des ambiances dans les milieux urbain , juxtaposées , ou imbriquées posant d'une manière générale la question du mode d'approche des ambiances et espaces architecturaux .De ce fait les habitants des espaces urbains dans la ville sont soumis à des sollicitations sensorielles multiples à savoir ,climatiques , auditives ,visuelles ,olfactives, lumineuses etc.., ces ambiances peuvent se traduire par des gênes ou des nuisances, la cour étant un espace extérieur inclut dans les édifices publics ou ses pratiques sociales sont une réponse adéquate et s'avère comme constructives du bien être et plaisir des usagers, créant ainsi confort et qualité de vie . En plus de la valeur sociale que génère l'introduction d'une cour dans un édifice public, à savoir esthétique, psychologique , contrôle thermique etc.

Les différents rôles et fonctions que peut jouer la cour nous permettent de définir les concepts spécifiques à l'appréhension de cet espace.

4.5.1 -Contrôle de la lumière du jour

Chaque édifice public à ses propres solutions pour le contrôle de la lumière naturelle, la cour compte parmi les solutions efficaces par rapport au contrôle de la lumière naturelle, elle joue un triple rôle (12)

---

12 Bensalem, R.1991, p 22 à 25

1) Admission de lumière

2)diffusion de la lumière

3)Distribution de la lumière vers les espaces adjacents

Il est à première vue évident que l'importance de l'éclairage zénithal, qui caractérise la cour est essentiellement destiné à l'éclairage naturel. Cela est d'autant plus évident quant il s'agit d'un bâtiment de grande épaisseur. Le fait d'ouvrir une partie du bâtiment vers le ciel a l'avantage de désenclaver l'espace qui, sans cela, risque de paraître confiné. En effet, la cour offre au concepteur la possibilité d'éclairer à la fois le volume ouvert mais aussi les espaces adjacents . Favoriser l'éclairage naturel aux dépens de l'éclairage artificiel a l'avantage aussi de réduire les consommations énergétiques du bâtiment et de produire des effets lumineux différents de ceux que procure une baie verticale. La qualité de la lumière naturelle baignant un espace éclairé par le haut justifie en partie l'intérêt que portent les architectes aux cours intérieures. Mais la performance en matière d'éclairage naturelle dépend de plusieurs facteurs et critères tel que(l'orientation ,la configuration géométrique , la position même de la cour qui est souvent centrale, les propriétés des surfaces verticales, la nature du sol, la présence d'eau et de la végétation .etc.)

-

Fig : 4.5 Contraste de lumière dans la cour (lycée j j rouseau)

Source : http://www.isma-arlon.be/plan/plan.htm

4.5.2-La cour et la qualité de vie

- En plus des capacités de contrôle climatiques que peut procurer la cour quand elle est conçue avec des dimensions bien appropriées et en combinaison avec plusieurs

facteurs et éléments qui vont être traités en détail dans le chapitre suivant . Mais sans s'attarder sur ces points, vu que notre étude va être consacrée a la dimension climatique de la cour qu'à sa dimension sociale .

La cour par ce fait crée un espace à ambiance contrôlée, c'est l'espace de communications, d'échanges sociaux et détentes, c'est un espace ou se déroulent les relations libres ou spontanées .En plus de ces avantages la cour a suscité un intérêt particulier au sein des chercheurs de différentes disciplines, tantôt des sociologues tantôt des psychologues. Selon la destination de l'édifice la cour peut être substituée à une place publique dans une université, un institut ,un jardin public dans un centre commercial ou un hôtel , un espace de jeu et de récréation dans une école ,ou une crèche ,etc. Loin de faire une liste exhaustive il est un lieu de sociabilisation et de vie quotidienne.

4.5.3- La cour espace de convivialité et d'esthétique

La cour permet de satisfaire les besoins sensoriels et psychologiques ,dans son livre l'espace vivant J Cousin décrit « la cour intérieure est l'espace bien définit ,une seule direction reste libre vers le ciel, notre vision étant horizontale la plupart du temps ,cet espace pourrait être parfaitement satisfaisant psychologiquement » (13)

C'est un espace convivial nœud de communication au sein d'un ou plusieurs bâtiments. Par sa conjugaison avec les éléments naturels , pelouses ,arbres, et eau , la cour permet d'extérioriser l'espace intérieur privé d'un immeuble , permettant ainsi de porter l'agrément des conditions extérieurs il ménage l'utilisation au niveau sensoriel (température contrôlée ,bruit modéré , effet de vent limité) Ettoney 1973(14)

4.6 –Typologie des cours dans les édifices publics

Après avoir survolé l'évolution de l'espace cour à travers l'histoire, il convient à présent de s'intéresser de plus près aux aspects formels qui les caractérisent. Sous quelles formes existent-elles aujourd'hui?Existe-il une typologie classifiant ces espaces ?

---

13 Cousin J. 1986 p146

14 Cité par Bensalem R,1991

Quels sont les aspects formels qui peuvent nous permettre de classifier la panoplie d'espaces de ce genre ? Telles sont les questions auxquelles nous nous attelons à répondre dans ce qui suit.

Les cours dans les édifices publics sont si diverses et se présentent sous différentes formes qu'il est impossible de faire une catégorie bien définie ou une entité homogène.

Bâtir une typologie des cours, revient à recenser les différents cas que l'on peut rencontrer dans l'architecture. Une possibilité réside dans une exploration allant de l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments, du général vers le détail, ce qui a le mérite de faire varier l'intérêt fonctionnel de la cour ainsi que la manière dont elle se présente pour un visiteur.

Plus qu'un simple vide inscrit dans le bâtiment à la manière d'un espace résiduel, la cour intérieure développe une véritable typologie : sa volumétrie le plus souvent pure et son ossature ainsi que sa forme développent une autre échelle du projet, ce n'est donc pas un vide mais une architecture propre et une architecture conçue. Si dans certains cas elle se présente comme un vide vécu. La conception de tels lieux est sujette à la créativité de l'architecte qui souvent veut en faire l'élément autour duquel s'articulent d'autres parties du projet. Cette créativité obéit elle-même à des contraintes liées à des considérations externes comme la forme urbaine, à des exigences du programme architectural (fonction du bâtiment, circulation, desserte, etc.) ou bien aussi à des préoccupations énergétiques ou lumineuses. C'est ce qui explique le fait que la cour existe sous une multitude de formes. Compte tenu de cette diversité, il est cependant possible de classifier les formes les unes par rapport aux autres.

La typologie des cours dans différents édifices à caractères publics à travers les époques et les différents édifices, nous permet d'énumérer les différents composants de la cour, et établir une représentation commune et cela à travers l'étude de quelques exemples illustrés puis existants.

L'analyse typo-morphologique consiste a la décomposition ou la classification des objets étudiés, elle se fait en une première étape empiriquement par observation. La cour est toujours comparée à une boite ou grande salle, formée par les éléments qui la composent à savoir :

le sol les parois verticales entourantes et son ouverture au ciel, c'est l'espace formel l'espace creux, défini par les bâtiments qui le bordent (15). Son existence se révèle par sa morphologie, son aménagement , sa climatologie ,sa luminosité et ses matériaux et couleurs qui s'y trouvent , aussi par sa lisibilité et son échelle etc. Toutes les cours dans les édifices publics ne peuvent être inventoriées ou prises comme exemples d'étude il a donc fallu procéder à deux classements successives, qui sont complémentaires, l'un se basant sur les édifices publics illustrés , un deuxième classement se basant sur les donnés d'un travail de terrain, englobant les cas les plus représentatifs et les plus significatifs dans la ville de Constantine . Pour le premier classement, il va se baser sur les paramètres physiques, et un paramètre géométrique uniquement la forme pour ce qui de l'orientation et dimensionnement il vont être traités et détaillés dans la second classement. L'analyse typo-morphologique permettra la décomposition en éléments simplifiés, de mettre en évidence le rôle de chacun des composants ainsi que le mode de combinaison ce qui facilitera enfin la lecture de leurs relations .

4.6.1- Cour et forme géométrique

la cour peut se présentée suivant différentes formes géométrique allant des formes les plus simples et régulières au formes irrégulières :

Cour de forme Carrée
Cour rectangulaire
Cour circulaire
Cour (hexagonale ou autre)
Cor triangulaire
Cour irrégulière (trapézoïdale ou autre)

---

15 Krier R ,1975, p14

4.6.1.1 Forme circulaire

Cour du parlement européen de forme circulaire .Le siége du parlement construit en 1994 architecture moderne. Un grand volume circulaire en verre fumé percé par une cour centrale ,c'est la cour centrale qui fait fonction de cour d'honneur sol construit avec le même grés rose des Vosges , que celui utilisé au moyen –age pour la construction de la cathédrale de strasbourg.

Fig :4.5 cour du parlement européen à Strasbourg

Source **:** www.inecula.com/ouvre/photos

4.6.1.2 cour pentagonale

Cour intérieure au pentagone siége abritant l'état major du ministère de la défense américaine construit en 1943 La conception du bâtiment principal est le résultat de plusieurs bâtiments reliés entre lieux donnant la forme pentagonale ,chaque bâtiment donne sur une ruelle est l'ensemble converge vers une vaste cour plantée d'arbres, avec un centre aménagé qui sert de lieu de recréation et de détente

Fig : 4.6 cour du pentagone(ministère de la défense américaine)

Source :Comprendre les merveilles de l'architecture,2000

4.6.1.3 Cour trapézoïdale

Cour du siége de la marie de la ville de Nantes ouverte d'un seule cote juxtaposée à une autre cour de forme presque trapézoïdale dissociant entre deux types de fonctions ce qui est public et ce qui est administratif

Fig : 4.7 Siège de la mairie de Nantes

Source : inecula. ouvre .com.

4.6.2 -Cour et parois Verticales

4.6.2.1-Cour avec galeries entourantes

L'agencement des portiques formant une galerie composé de colonnes périphériques d'une manière étudiée ,créant des espaces ombragés entourant la cour , et sous les rayons solaires le jeu de lumière et de l'ombre crée des ambiances différentes suivant les saisons .

Fig. : 4.8 -Cour du lycée Arago

Source :Lyc-arago.scola.ac-paris.fr

4 .6.2.2-cour avec parois homogènes

Cour intérieure dans une université étant aménagée de pelouse et petites arbustes seuls les bâtiments entourants font masque au rayonnement solaire

Fig : 4.9 Cour d'une université jean Moulin Lyon

www.iscula.com/œuvre/photos

4.6.3 -Cour et végétation

La végétation dans la cour peut se présenter sous différents agencements , allant de la cour entièrement plantée d'arbres avec un agencement de type arbres alignés, arbres au centre ou arbres formant alignement face aux parois.

4.6.3.1-Cour entièrement couverte par la végétation

La cour des orangers' C'est une cour toute plantée d'arbres elle était un lieu réservé aux ablutions ,rituelles Sous le soleil ardent et la canicule des mois d'été que connaît le sud de l'Espagne , la cour devint , alors un véritable oasis . actuellement c'est jardin public très exploité .

fig. : 4. 10 Cour des 'orangers' grande mosquée de 'Cordoue' en Espagne

Source : www.inecula.com/ouvre/photos

Cour du lycée Dorian en France. Cour entièrement plantée qui sert de récréation .La cour dans ce cas constitue un espace de liaison entre deux types d'architecture, classique et contemporaine

fig. : 4.11 cour dans un lycée 'Dorian' en France

Source : www.inecula.com/ouvre/photos

4.6.3.2- cour avec rangée d'arbres

Cour intérieure en hiver

Les bâtiments de l'école primaire la cour est plantée d'une série d'arbres, plantées en colonnes. La photo représente l'école durant l'hiver .
Les arbres plantées sont des arbres à feuilles caduques ce qui différe la cour pendant les differentes saisons

fig. :4.12 Cour d'une école primaire

Source : www.inecula.com/ouvre/photos

La cour en été

Photos de la même école prise en mois de juin on remarque qu'en plus des bâtiments qui font masque à l'ensoleillement d'été les arbres participent par les feuilles qui font un masque végétal au rayon au rayonnement solaire

fig. :4.13 Cour d'une école primaire

Source : www.inecula.com/ouvre/photos

4.6.4 -Cour avec Eau

4.6.4.1 -Cour avec bassin d'eau

Fig :4.14 La cour des « Myrtes »

Source :The arab city 1982

Elle tient son nom de l'arabe « albarca » de son large bassin qui reflète harmonieusement l'architecture les bâtiments qui l'entours ce bassin de forme rectangulaire de 35 m de long sur 7m de large et qui occupe la partie centrale confiére à celle-ci une dimension supérieure et participe à créer un microclimat favorable

4.6.5 Cour et types de sol

4.6.5.1Cour vide sol minéral

Cour intérieure d'honneur de la bibliothèque municipale de Paris, sol pavé(sol minéral), la fonction d'une cour d'honneur exige que le parterre soit dégagé et libre de toutes obstacles , pour que les équipages qui amènent les visiteurs, puissent circuler librement , seule les parois entourantes font masque à l'ensoleillement

Fig. : 4.15 Cour d'honneur de la bibliothèque principale

Source : www.inecula.com/ouvre/photos

4.6.5.2 Cour avec sol couvert d'un pelouse

Cour à l'intérieure d'un ensemble d'immeubles formant le siége d'une banque présence d'une couverture végétale sur toute la surface de la cour (cour- jardin) les ellipses en parois de verre favorisent le contact avec la nature différents contactes visuels et tactiles ,la cour appréciée de loin comme une scène théâtrale ,c'est une tendance nouvelle de l'aménagement de la cour

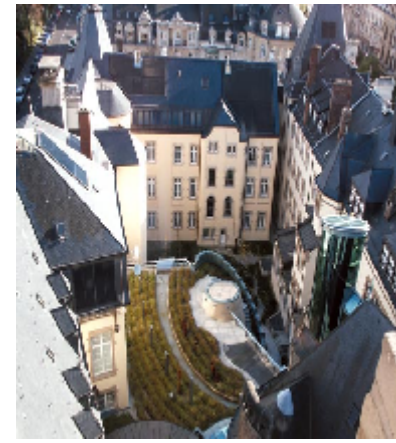


fig. : 4.16 cour du siége de la B.C.E.E)

Source : technique et architecture,1984 p12

Les typologies que nous avons présentées, aussi différentes soient-elles, montrent la diversité des formes architecturales sous lesquelles une cour peut exister. La démarche qui consiste à répertorier toutes les formes de cours construites et les classifier à le mérite d'être exhaustive puisqu'elle fait de chaque forme une classe à part entière. Cependant, cela risque d'aboutir à une classification compliquée. De plus, l'apparition de nouveaux cours pouvant recouvrir toutes les formes possibles et imaginables peut très vite rendre cette approche difficilement contrôlable.

Notre objectif dans la phase suivante ne consiste pas à la formulation d'un type bien défini mais au moins établir un échantillonnage des différents types existants dans divers édifices à caractère publics de la ville de Constantine . quelque soit la période ou l'époque où la construction à été édifiée.

4.7-Classement typologique des édifices à cour à Constantine

- L'étude des édifices publics comportant des cours dans la ville de Constantine, est d'une grande importance, vue que Constantine dispose d'un tissu urbain diversifié dans le temps et dans l'espace.

Constantine constitue un lieu oū ont fusionné plusieurs civilisations période romaine d'ou elle porte le nom de l'empereur romain (Constantine) puis la période ottomane

ou pré-coloniale oū les tissus urbains et plusieurs constructions et édifices importants sont toujours existants , cette période est caractérisée par un mode d'urbanisation qui utilise des techniques vernaculaires et des matériaux locaux .Ainsi nous enregistrons dans ce mode d'urbanisations ,l'introvertisme est le principe sur lequel est conçu l'espace habité. des habitations regroupées avec des rues sinueuses et étroites .Puis vient l'époque coloniale, cette période de l'histoire de la ville s'est caractérisée par l'apparition d'une nouvelle technique d'urbanisation, d'organisation spatiale et architecturale. Le caractère extraverti dans les constructions et très apparent, la structure de l'organisation urbaine sous forme d'îlot a engendrer la rue rectiligne carrossable, et enfin la période de l'indépendance qui peut être divisée en deux phases, un phase de (1962 –1974),cette période a connue une absence flagrante des structures de contrôle et de gestion urbaine .Cette situation a généré des tissus urbains hétéroclites avec une architecture médiocre.

Une deuxième phase c'est la période actuelle ou contemporaine, basée sur l'urbanisation rapide ou l'effet de la poussée démographique et l'exode rurale les aménagements et l'urbanisation ont été basés sur les PDEAU et les POS qui ont négligés toutes les dimensions contextuelles, apparition d'une nouvelle typologie de construction avec référence à des modèles étrangers. De ce fait, plusieurs exemples des édifices publics comportant de cours intérieures ont été choisis , représentants les différentes périodes.

Cour école Ibn-Batouta

Superficie :1250 m²

Rapport h/l 0.50

Forme :rectangulaire ouverte

Parois : parpaings

Fig :4.17 Cour rectangulaire ouverte

Source : plan de la ville de Constantine

Cours lycée frères Biskri

Cour 01:superficie 1200m²

Forme : rectangulaire

Rapport h/l :0.5

Parois : pierre

Cour 02:superficie 900m²

Forme :carré

Rapport h/l :0.5

Parois: pierre

Arbres : alignés

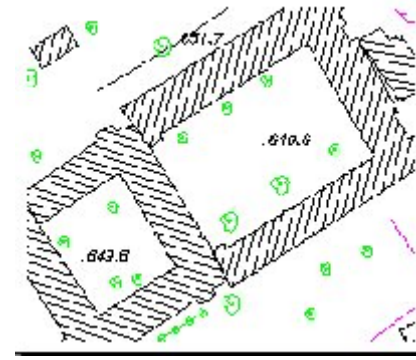


Fig :4.18 Cour rectangulaire

Source : plan de la ville de Constantine

Cour lycée école el –Adjabi

Superficie 1100 m²

Forme : trapézoïdale

Rapport h/l: 0.8

Sol : dalle de béton

Parois : pierre

Arbres :aux coins

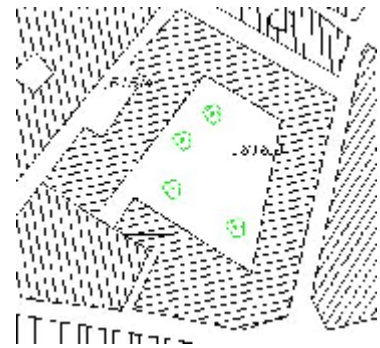


Fig :4.19 Cour trapézoïdale

Source : plan de la ville de Constantine

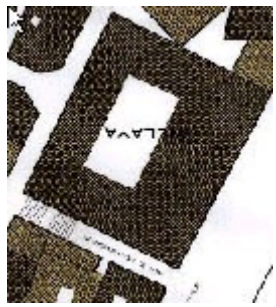


Fig :4.20 Cour rectangulaire

Cour d'honneur de la wilaya

superficie :300 m²

Forme : rectangulaire

Rapport h/l : 1.07

Sol: couvert en dalle de béton

murs

Parois: en pierre

Source : plan de la ville de Constantine

Cour 01 palais du bey
Superficie : 397 m²
Forme: non régulière tend vers le rectangle
Rapport h/l: 0.7
sol : plantée d'arbre
Parois: galeries entourant des quatre cotés et mur en pierre

Fig :4.21Cour de forme irrégulière

Source : plan de la ville de Constantine

Lycée Ridha Hou hou
Cour 01:
Superficie :1120 m²
Forme:rectangulaire
Rapport h/l: 0.50
Parois :pierre
-Galeries
Végétation : arbre central
Cour 02:
Superficie :725 m²
Forme: triangulaire
Rapport h/l: 0.50
Parois :pierre
-Galeries

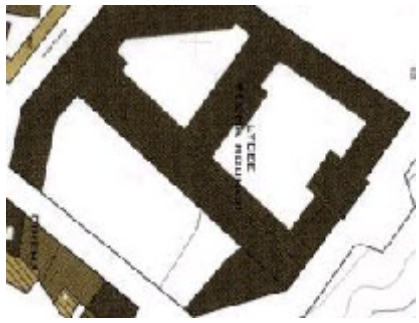


Fig :4.22 cour de forme triangulaire

Source : plan de la ville de Constantin

Cour hôpital : **03 cours**
Superficie:1200 m²
Forme :rectangulaire
Rapport h/l :0.4
Sol en béton
Végétation :aux quatre coins

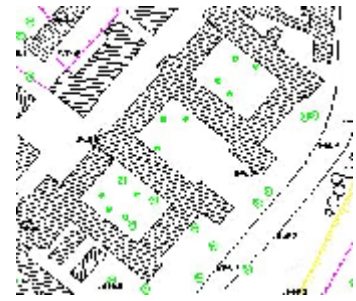


Fig 4.23 :Cours de l'hôpital

Source : plan de la ville de Constantine

Cour 02 de l'hôpital

Superficie :1200 m²

Forme : carrée

Rapport h/l : 0.40

Fig :4.24 Cour 02 de l'hôpital

Source : prise par l'auteur

cour 01 école d'architecture

Superficie : 1020 m²

Forme : carrée

Rapport h/l : 0.23

Sol en dalles de béton

Végétation :arbre central

Fig :4.25 cour 01 école d'architecture

Source prise par l'auteur

Cour 03 école d'architecture

Superficie : 1020 m²

Forme : Rectangulaire

Rapport h/l : 0.23

Sol en dalles de béton

Végétation : arbustes

Fig4.26 : cour ouverte

Source prise par l'auteur

Edifice	Surf de la cour (m^2)	Ratio (h/l)	Orientation	forme	Aménagement intérieur
Ecole Ladjabi	1100	0,8	NE/SO	Trapézoïdal	-Sol en béton - présence d'arbre
Palais du bey -Première cour -Deuxième cour	397 361	0,7 0,57	NE/SO NE/SO	-Presque rectangulaire -carrée	-Cour entièrement plantées -platée d'arbre
Ecole Ibn Batouta	1250	0.50	N/S	Tend vers le rectangle	-Sol en dalle de béton
Siége de la wilaya	300	1.07	E/O	Rectangulaire	-sol en béton
Lycée Ridha Hou hou -Première cour - deuxième cour	1200 725	0.47 0.47	NE/SO NE/SO	Carrée Triangulaire	-présence d'arbres
Ecole d'architecture et d'urbanisme -première cour -Deuxième cour - Troisième cour ouverte	 1020 2175 1480	 0.63 0.48 0.48	 NE/SO NE/SO NE /SO NE/SO	 -Presque Carrée -rectangulaire - Rectangulaire	 -sol dalle de béton ave arbre centrale -sol en dalle de béton -arbustes et pelouse
-Hôpital - Première cour -Deuxième cour -troisième cour	 1200 1200 1200	 0.46 0.46 0.46	 NE/SO NE/SO NE /SO	 Rectangulaire Rectangulaire Rectangulaire	 -sol bitumé -sol bitumé quatre arbres au coins

-**Lycée des frères Biskri**					
-première cour	1200	0.46	NE/SE	Rectangulaire	-Sol bitumé avec une rangée d'arbres des deux cotés -Plantée d'arbres
-Deuxième cour	625	0.56	NE/SE	Carrée	

Tableau 4.1- classement des édifices publics à cours dans la ville de Constantine

4.8- Conclusion

-A travers ce chapitre le concept cour a été défini, ainsi q'une aperçue historique de son évolution à travers les différentes époques.

Sans que l'on puisse prétendre à l'exhaustivité, ce bref résumé nous permet de donner l'essentiel des étapes qui ont jalonné le cheminement qu'ont connu les cours intérieures .Il s'est avéré que la cour dans les édifices publics existait depuis l'antiquité égyptienne, et se trouvait dans les édifices romains sous différentes formes , il s'est avéré aussi qu'elle a des rôles multiples (organisationnels , fonctionnels ,éclairages ,esthétiques et psychologiques etc.…). Par la suite il a été procédé à une lecture typologique et sélective, des différentes cours dans divers édifices publics. Constatant la diversité et la complexité de ces classifications, il a été proposé d'établir notre propre typologie qui se veut plus simple quant aux critères de classification. Celle-ci s'est basée sur deux critères architecturaux facilement identifiables se basant en premier lieu sur des exemples illustrés présentant différents aspects de la cour, ce qui à permet de déceler que la cour est un espace présent dans un nombre illimités d'édifices publics, quelque soit la fonction ou la destination (école ,lycée ,hôtel…etc.) et même dans les édifices les plus discrets tel que siége du ministère de la défense et parlement .Ensuite il a été procédé à la décomposition de la cour dans le but d'étudier l'influence de chaque paramètre et composant ce qui permet d'établir la relation entre eux .

La deuxième phase complémentaire, qui consistait a faire un choix judicieux d'un ensemble de cours existants dans la ville de Constantine, dans différents édifices

publics. Constantine a été choisie comme exemple d'étude vue sa richesse et diversité urbanistique (Période ottoman jusqu'à la période récente). Ce travail qui a consisté à une investigation sur terrain, et qui a été un complément au travail sur les exemples illustrés, il a permis de procéder à un classement d'un ensemble de cours existants suivant un ensemble de critères déjà définis. Après avoir effectué un tour d'horizon de la représentativité des bâtiments à cours dans le contexte architectural actuel, ce classement a montré qu'à l'échelle de la ville, la cour est présente avec un grand pourcentage , dans les édifices à caractère scolaire, c'est l'espace structurant de ce genre d'édifice ce qui nous pousse à dire q'une normalisation et un dimensionnement spécifique en relation avec les critères du confort thermique et indispensable pour ce genre d'équipements.

Les éléments composants la cour étant définis, le chapitre suivant sera une approche ou étude qualitative détaillée sur le comportement thermique de ces composants à savoir géométriques (dimensions, formes, orientations etc.), les composants physiques (parois entourantes, et le sol, éléments naturels) et le rôle de chaque composant sur le microclimat engendré dans la cour.

5.1- Introduction

Le chapitre précédent, avait comme but la compréhension de la cour, suivant les caractéristiques formelles, spatiales et physiques. Mis à part ces considérations, il est important de se pencher dans ce chapitre sur les aspects liés au comportement caractérisant les échanges thermo-radiatifs dans les cours. Il est bien évident que ces échanges qui incluent le rayonnement solaire(direct, réfléchi et diffus) et le rayonnement infrarouge, sont parmis les principales sollicitations extérieures qui influent sur le confort thermique dans la cour. La décomposition de la cour suivant les éléments qui la compose ; dans le chapitre précédent ; a montré que la cour varie selon deux paramètres bien distincts, le premier est géométrique il s'agit de la forme, les proportions(rapport hauteur largeur et la taille) et l'orientation, et le deuxième est physique, il s'agit des parois entourantes et la couverture du sol(minéral et naturel). Dans le but d'arriver à une caractérisation microclimatique, il s'agit en premier lieu d'isoler les influences de chaque paramètre composant la cour, afin de définir sa participation relative aux ambiances climatiques et plus particulièrement les effets thermo-radiatifs. Cette étude qualitative repose sur des travaux de recherche, qui traitent la relation entre les paramètres cités, leurs interrelations et leurs influences sur le contrôle climatique ainsi que le rôle de chaque paramètre de la cour et cela pour un meilleur contrôle de l'ensoleillement. Donc ce chapitre va être abordé sous l'appui des recherches qui ont traité le contrôle solaire et énergétique sous tous ces aspects : accès au soleil, refroidissement, stockage et réflexion de la radiation, sa distribution dans la cour.

5.2-Implication de l'ensoleillement dans la cour

Le comportement de la cour vis-à-vis de l'ensoleillement, peut être subdivisé en deux éléments:

a)La morphologie propre de l'espace qui commande un certain nombre de phénomènes inéluctables :

- La répartition des zones ombrées et ensoleillées, qui dépendent des

proportions et de l'orientation de la cour

- Les champs radiatifs solaires et thermiques qui en découlent.

Ces phénomènes ont une action directe sur le microclimat régnant et par conséquent le confort de l'usager de la cour, vu que ces deux phénomènes déterminent les températures de l'air et des surfaces environnantes.

b) La correction apportée par les éléments contenus par la cour

- Ces éléments peuvent être **:** la micro volumétrie, les dispositifs de protection, les éléments naturels (eau et végétation) et les matériaux de construction(couleur et texture). Leur influence se manifeste comme suit : en ajoutant des ombres dans les zones ensoleillées et en introduisant des échanges thermiques "latents" (cycles évaporatifs de l'eau ou des végétaux par évapotranspiration) susceptibles de modifier la température d'air ou celle des surfaces ainsi que le pouvoir de réflexion du rayonnement incident ; pour le cas des matériaux de construction.

5.3– Echanges thermo-radiatifs

Les différentes surfaces internes chauffées par les flux solaires absorbés durant la journée échangent entre elles un rayonnement thermique grande longueur d'onde. Il y a transfert de chaleur par rayonnement électromagnétique entre deux corps qui ne sont pas en contact i et j, de surface Si et Sj de coefficient d'émission ε1 et ε 2 lorsque leurs températures respectives sont différentes. La densité de flux net radiatif de grande longueur d'onde GLO est définie par la loi de Stefan-Boltzmann : Facteur de forme. Ce paramètre sans unité, compris entre 0 et 1, traduit le rapport entre la quantité d'énergie qui quitte une paroi et qui atteint une autre et la quantité d'énergie totale qui quitte la surface

$$F_{dAi\ dAj} = \frac{\text{énergie qui atteint dAi depuis dAj}}{\text{Energie totale dAj}}$$

Le facteur de forme obéit uniquement aux relations géométriques entre deux éléments qui se traduisent par l'angle solide sous lequel une surface émettrice voit une surface réceptrice. En d'autres termes, cela dépend de la distance qui les sépare, l'un de l'autre et de leurs orientations relatives.

5.3.1–Echanges entre parois l'été

Nombreuses, ont été les études expérimentales sur la cour qui ont pris en considération l'influence des échanges thermo-radiatifs. Parmi ces études on peut citer l'étude de Mohsen M, 1979 ; Reynolds 1982; l'équipe du CERMA par des chercheurs Piras E , 1998 ; au Canada Rogers R P ,1999 ; Daniel S et Mareene C 2000 , et autres. L'analyse du comportement énergétique a pour but de comprendre les effets microclimatiques qui peuvent se produire suivant la morphologie propre de la cour, ces connaissances de base liées aux phénomènes qui se produisent dans la cour quelque soit sa forme, ses proportions et son orientation ; Chacun des ces paramètres ainsi que ses effets vont être détaillés dans les prochains paragraphes de ce chapitre suivant le deux saisons.

L'été en début de la matinée seule la partie haute de la paroi exposée au rayonnement solaire direct absorbe une partie du flux solaire incident et réfléchisse une autre partie sous la forme de rayonnement diffus. Seule l'air à proximité des toits et des parois ensoleillées se réchauffe, et crée deux zones de température :

-Une couche supérieure est créée, par l'air chauffé des toits véhiculé par les mouvements d'air

-Une couche basse plus fraîche n'a subi aucune influence thermique

L'après-midi toutes les parois opaques ayant absorbées une quantité du flux solaire incident émettent d'une façon continue un rayonnement, et absorbent une partie du rayonnement émis par les autres parois ; échangent entre parois ; sous forme d'énergie diffuse, l'émission et l'absorption des rayonnements jouent un rôle très important dans échanges qui se produisent sur la température des surfaces des parois de la cour. L'énergie reçue par les parois élève la température de l'air à l'intérieure de la cour et les parois qui l'entoure reçoivent l'énergie sous forme de grande longueur d'onde , plus la température est élevée plus courte est la longueur d'onde pour la quelle

se produit le maximum d'échanges. Voir fig. (5.1) et fig.(5.2)

5.3.2 -Echanges au niveau du sol

Suivant toujours l'étude sus-indiquée les échanges au niveau du sol s'effectuent aussi sous différentes formes.

En début de matinée le sol ne reçoit aucun flux incident direct mais reçoit une partie du flux incident réfléchit provenant de la paroi ouest (exposée au soleil le matin) et une par du rayonnement diffusé par le ciel, le soleil étant très bas la matinée (soleil rasant) le sol ne reçoit aucun rayonnement direct.

Dans un deuxième lieu quand le soleil est très haut ; entre 11h00 et 14h00 ; le sol reçoit la radiation solaire directe et la transmet par réflexion aux parois entourantes énergie réfléchie qui s'ajoute à leur gains en énergie globale**.**

Un troisième comportement qui consiste en une perte de l'énergie absorbée par le sol , est au fur et à mesure que le sol est à l'ombre est en contact avec l'air frais.

5.3.3 –Echanges par rayonnement nocturne

Le refroidissement par rayonnement nocturne constitue une considération complémentaire liée à la radiation solaire. La nuit le rayonnement solaire est inexistant donc le ‘‘rayonnement net ‘’ dans la cour n'est autre que le rayonnement nocturne, la cour se comporte de la façon suivante :

par son ouverture au ciel, la cour émet à travers le sol et les parois, des radiations à longues ondes vers la voûte céleste ce sont les radiations absorbées durant la journée, cette propriété de refroidissement est donnée par la capacité des matériaux d'un espace suivant les matériaux à restituer la chaleur emmagasinée durant la journée. La surface du matériau doit avoir un coefficient d'éméssivité du rayonnement infrarouge (propriété de rayonner la chaleur cumulée) suffisant pour obtenir l'effet de refroidissement (voir § 5.8.1).

Voir power point

P4

Voir power point

La nuit les échanges par convection se font de la façon suivante : l'air frais étant plus dense que l'air chaud emmagasiné par le sol, l'air frais descend progressivement est collecté à l'intérieur de la cour remplaçant ainsi l'air chaud. Cette effet de rafraîchissement reste emmagasiner dans la masse thermique pour la retenir jusqu'a la demi-journée, vu que l'énergie transmis par les parois vers le sol accuse un certain retard voir fig. (5.3).

Pour mettre en évidence l'importance du rayonnement thermique et selon une étude menée par Noilhan J (1), a considéré le cas d'une cour entourée sur les trois cotés par une façade d'immeuble, les dimensions de la cour : 30 x40 m la hauteur des bâtiments est de 14 m cette étude effectuée en ne journée ensoleillée du le 18.10 et la latitude de 45° a montré qu'il existe une décroissance très rapide des échanges radiatifs lorsque les surfaces concernées s'éloignent. Cette étude met en évidence le rayonnement solaire global reçue par les surfaces et le rayonnement thermique émis (GLO), pour cela, la cour à été découpée en un ensemble de carre de 10x10 m numéroté de 1 à 12 voir fig. (5.6). Les résultats était les suivants :

Les valeurs du rayonnement global Qi = Li + Di+ Ri + Ii (l'énergie reçue par les carrés 3 et 7 de la cour et au carré de référence(ref) , sont respectivement égales à 286, 238 et 227W /m², les apports par réflexion sur le mur sud-ouest sont limités en grande

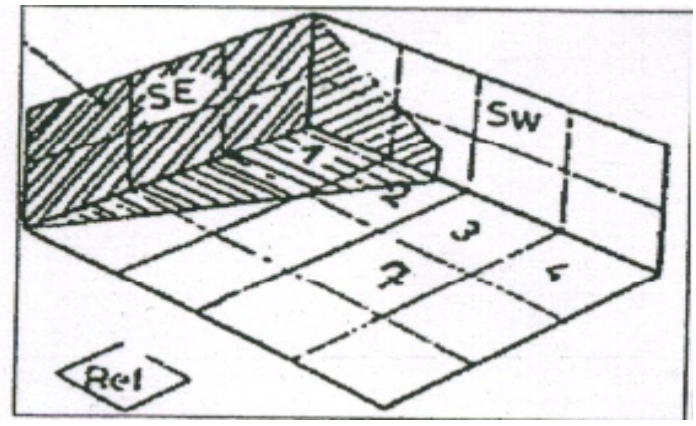


Fig : 5.4-Echanges radiatifs entre surfaces

Source : Noilhan J 1980,p260

---

1 Noilhan J 1980,p260

partie à la surface adjacente (3) avec un surplus de 59 w /m² ce qui représente 26% (par rapport à la référence), par contre la surface (7) située à 15 mètres du mur, elle ne dépasse la valeur de la référence que de 11 w/m² ce qui représente 5%.Sans compter que le facteur de vue du ciel est passé de 0.55 en (3) à 0.74 en (7) ce qui entraîne une augmentation du rayonnement diffus reçu.

- Li Rayonnement thermique émis par les surfaces environnantes
- Di rayonnement solaire diffus incident
- Ri rayonnement solaire réfléchi par le ciel et l'environnement
- Ii rayonnement solaire incident direct

5.4- Comportement de la cour l'hiver

Ce-ci est dit pour l'été, par ce que si l'été le rayonnement solaire est préjudiciable et induit des surchauffes considérables et par conséquent l'inconfort de l'usager, l'hiver le rayonnement solaire est nécessaire pour contribuer à une plus grande sensation de confort thermique et assurer un éclairage naturel suffisant, d'oŭ le comportement de la cour est totalement différent , puisque dans la plus part des cas, le sol ne reçoit que très peut d'énergie solaire tel que montre la fig.(5.5) pour le cas d'une cour de 800m² de 18 m de hauteur à 12h00 .

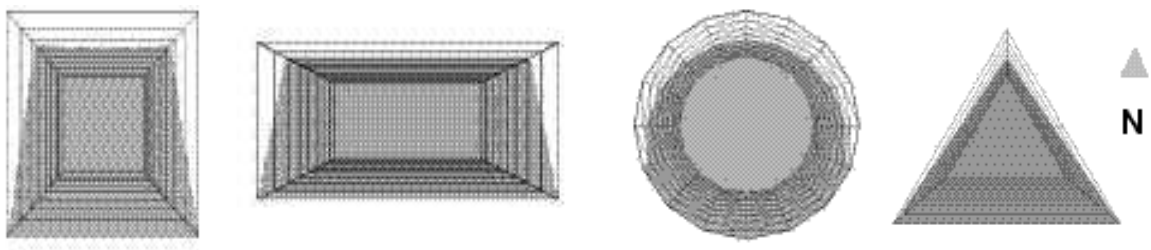


Fig : 5.5- rayonnement solaire reçu le 21 décembre à12h00

Source : Daniel S et al , 2003, p4

5.5 - Comportement géométrique de la cour

Les paramètres géométriques qui régissent la disponibilité de la radiation solaire dans la cour sont : les proportions, la taille et l'orientation. Certains chercheurs tel que , Mohsen (1979), Nour (1984), Daniel S et Marenne C, 2003 du CERMA ont développé un programme informatique afin d'évaluer les effets thermo-raiatifs selon ces paramètres géométriques.

5.5.1- proportions

Le ratio est défini comme étant le rapport entre la hauteur de la façade intérieure et la largeur de la cour (2) .

En générale on considère un petit ratio si $1.3 < h/l < 2$,un ratio moyen si $h/l < 1.3$ et un grand ratio si $h/l > 2$ (3) .

Le ratio définit la configuration géométrique de la cour en terme de profondeur .Comme il peut être donné sous forme d'angle (Angle d'espacement) plus l'angle est grand plus la cour est profonde. voir fig.(5.7),en terme de rapport l'exposition au soleil démunie au fur à mesure que le rapport entre la hauteur et la largeur augmente.

Une relation proposée par Reynolds J.S pour déterminer le ratio d'une cour assurant un ensoleillement optimal ainsi qu'un éclairage maximal est exprimé par la relation suivante :

Ratio = S/Hm

S - désigne la surface de la cour

Hm – désigne la moyenne des parois autour de la cour

Le ratio est souvent considéré comme l'unité structurelle de base de la cour, il est identifié comme étant le paramètre le plus pertinent dans la description de la cour, en vue de sa capacité de contrôler l'accès au rayonnement solaire et le refroidissement, comme il affecte la quantité d'énergie reçue, ce mode de distribution sur les différentes surfaces verticales et le sol ; et par conséquent le confort de l'usager de la cour. Il

---

2 Kessab, T.1998, p52

3 Mohsen M , 1979 , p189 –191

contrôle aussi les apports solaire directs à l'intérieur des bâtiments à travers le niveau d'exposition des parois autour.

Le ratio renseigne également sur la capacité de refroidissement de la cour et par conséquent sur les températures résultantes aussi bien intérieures qu'extérieures puisqu'il détermine son potentiel de restitution de chaleur nocturne, pour cela le ratio étant en liaison directe avec l'ouverture au ciel, le facteur d'ouverture au ciel désigné par (φ), et 1 - φ correspond à la partie occupée par les obstacles ce facteur varie donc de 0 à 1,Ainsi (φ) est l'indicateur privilégié de cette capacité à refroidir. Il est rapporté exclusivement au ratio h/l car le refroidissement nocturne ne dépend pas de l'orientation au soleil (4)**.**

L'évaluation du niveau d'ouverture au ciel, peut être d'une réelle complexité vue que l'accès ou la protection du soleil peuvent s'opposer aux besoins de refroidissement nocturne L'été le rayonnement solaire est intense, ce qui exige une faible ouverture au ciel ; grand ratio. ;Par contre un bon refroidissement nocturne exige une grande ouverture au ciel à cela s'ajoute la variation saisonnière due à la course solaire, donc de cette façon le choix d'un ratio idéal, exige un compromis et une étude de ces multiples variables, d'oŭ un choix formel doit être fait sur la base des aspects les plus déterminants dans le contrôle de l'ensoleillement

Suivant une étude faite par Bensalem et al (**5**) l'étude de l'effet de l'angle d'espacement sur le contrôle du rayonnement solaire incident d'une rue. De l'examen des résultats obtenus , il s'avère que pour un angle d'espacement de 30°, la quantité totale d'énergie reçue dépasse considérablement (environ 30%), celles correspondants aux deux autres angles : 45°et 60° (par comparaison la différence entre fraction reçue par un profil à 45° et celui de 60° atteint les 20%).

Une étude plus détaillée faite par Piras E (6) , En variant les proportions de la cour, et cela pour les phénomènes qui se produisent

Deux types de cours ont été simuler

a)Cour haute : hauteur > 2.5 largeur

b)Cour basse : hauteur <2.5 largeur voir fig.(5.7)

---

4 Oke ,1988, p110

5 Bensalem et al 2001 p106-107

6 Piras E1998 p4 http://lesowww.epfl.ch/master.html (Consulté le 12 /06/2005)

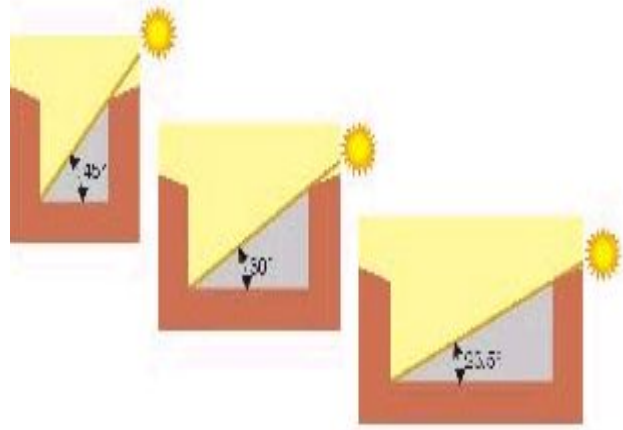


Fig : 5.6 Angle définissant le ratio

Source :www-energie.arch.ucl.ac.be

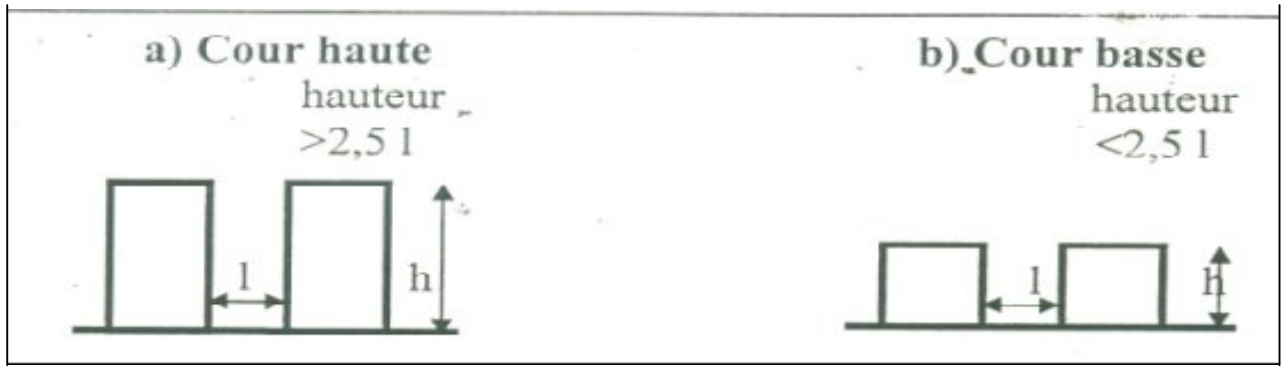


Fig : 5.7 proportions des cours étudiées

Source :Piras E1998, p3

5.5.1.1 -Cour haute

-Le comportement étudié en été sur les 24 heures pour la cour haute sont :

Le jour : Pendant les premières heures de la matinée la cour aura une température inférieure à la température extérieure à cause du refroidissement gagné pendant la nuit, durant la demi-journée ou le soleil est haut, la cour commence à emmagasiner et cumulée la chaleur par le phénomène des échanges entre les parois

La nuit : La température à intérieur de la cour qui a accumulée de la chaleur pendant toute la journée, est supérieur à la température extérieure (Ti > Te).

Dans ce cas, l'air à l'extérieur représente un puit de fraîcheur : pendant la nuit, les murs de la cour ; exposés à l'air frais ; cèdent la chaleur accumulée pendant le jour, cette différence de température permet à l'air frais qui pénètre par dans les étages inférieurs fait monter l'air chaud plus léger se trouvant dans la cour , et le cycle se répète jusqu'au refroidissement .

5.5.1.2 -Cour basse

Le jour : une partie des façades intérieures et extérieures exposé au soleil, voir fig.(5.8) dans ce cas la grande exposition au soleil rend la température à l'intérieure de la cour presque similaire à la température extérieure (sauf sur la façade ombragée du bâtiment).par contre la dimension en largeur peut favoriser la plantation de végétaux qui règlent le microclimat .L'avantage de ce type de cour est d'avoir une cour beaucoup plus lumineuse ce qui gagnent de la chaleur pendant l'hiver . Comme il est important de signaler que la différence de pression entre façade exposée au soleil et façade à l'ombre déclencha une ventilation naturelle

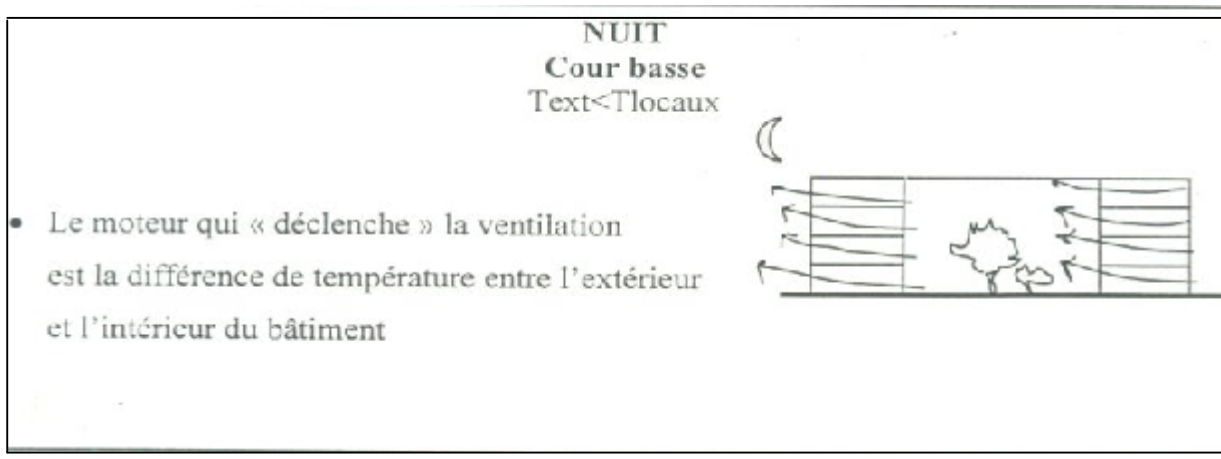

NUIT
Cour basse
Text<Tlocaux
Le moteur qui « déclenche » la ventilation est la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment

Fig : 5.8 comportement de la cour basse la nuit

Source :Piras E1998,p3

La nuit : la cour étant large, avec ses proportions le phénomène de refroidissement est plus rapide d'après les conclusions de Piras ,E (7) que ce type de cour est plus indiqué dans les climats froids et quand la priorité est de s'exposer au soleil plutôt que s'en protéger .En été la cour n'est pas impliquée dans le refroidissement des parois qui l'entourent, par contre, la possibilité d'aménager des végétaux donne une valeur ajoutée à la cour qui bénéficie d'un microclimat tempéré par effet d'ombre que procurent les végétaux .

5.6 – Effet de l'orientation

Il est connu dans le milieu scientifique que la meilleure orientation est suivant l'axe longitudinal est –ouest (,Fathi H (8),Evans M (9) Koenigsberger ,1975)représente l'orientation la plus favorable l'été et sous nos latitudes. Les orientations les plus défavorables sont : l'ouest, le sud-ouest et le nord-ouest, ces orientations recevront le maximum d'énergie le soir, un mur ouest sous la latitude 36°17(Latitude de la ville de Constantine) reçoit le maximum en été en une journée (> 2400 W /m²) et ne reçoit en hiver que 781 W/ m² par contre un mur vertical sud reçoit le maximum d'énergie en hiver Pour une journée (2398 w/m²) Par contre, en été la radiation solaire direct reçue l'ordre de' (900 w /m²) (10) .

Même pour les hautes latitudes telle que 45° le mur sud reçoit un rayonnement solaire direct en hiver entre 11h et 13h (¨> 700 W/m²) par contre en été il ne reçoit que 350 w/m² (11) vers midi voir fig. (5.10), (5.11) et (5.12) « Le courant bioclimatique a remis l'exposition sud à la mode pour mieux capter l'énergie solaire en hiver, il se trouve que cette orientation est aussi sous nos latitudes celle qui offre les apports solaires les plus faibles en été après le nord »(12) .

En effet l'architecture bioclimatique a établi que l'orientation est et ouest fournissent la même quantité d'énergie mais la situation d'inconfort due à l'exposition Ouest en fin de

---

7 Ibid p5

8 Fathi H, 1970 , p95

9 Evans M, 1980, p 63

10Capderou M 1985 p62 à 68

11 Izard J L 1984 p 21

12 Izard J, 1993

Fig 5.10 et 5.11 5.12 voir power point

journée est bien plus importante que celle à l'Est en début de journée, due à la période d'exposition de la façade Ouest et le cumul causé par l'effet de la radiation diffuse et réfléchie tandis que les brumes matinales font qu'une façade Est supporte plus.
Cette importance est à relever en particulier pour les surfaces verticales (parois) qui connaissent des situations contrastées entre exposition l'hiver et protection l'été.
Comme il est important de signaler le comportement de la cour etant un espace découvert, la contribution du sol demeure très importante notamment que le sol isolé peut recevoir une quantité très important énergie(rayonnement solaire direct) qui peut atteindre 1024 Wh/m² sous un ciel clair **(13)** voir fig. (5.13)

5.7 -Effet de la taille

Surface exposée est évoquée dans les milieux scientifiques par le coefficient de forme qui est le rapport de la surface au volume plus le ratio est petit et plus la forme est performante.

« Ce coefficient permet de constater que la surface des parois croit moins rapidement que le volume contenu par elles pour une forme donnée que l'on fait accroître » (14)
Donc la forme extérieure, reste une donnée fondamentale pour limiter les échanges thermiques au niveau de l'espace extérieur et de cela son influence sur les déperditions dans les espaces intérieurs. Pour le cas des formes qui tendent vers la sphère présentent le plus faibles Rapport S /V

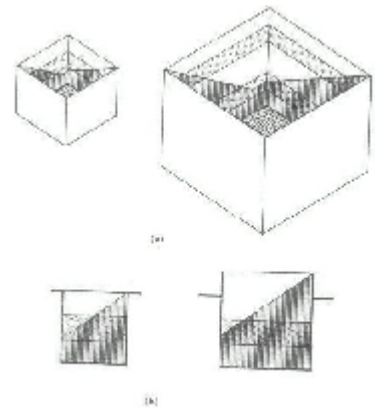


Fig : 5.13 effet de la taille sur les échanges de l'énergie dans la cour
Source. :Mohsen.M ,1979.

---

13 Izard J l 1994,p 20-22
14 Ptrick ,B et al,1978, p26

Une étude détaillée concernant les trois paramètres cités précédemment régissant la disponibilité de la radiation solaire a été développé par (Mohsen.M 1979) qui à travers cette étude a démontré que le comportement thermique de la cour dans le contrôle du rayonnement solaire est régie par l'interdépendance des paramètres géométrique cités précédemment (orientation, ratio et la taille)

R1 : indique la profondeur de la cour (P/H)

P : désigne le périmètre et H : désigne la profondeur ou hauteur de la cour

R2 : indique l'allongement de la forme (W/L)

Ou w : désigne la largeur et L :désigne la longueur

R3 :Indique l'ouverture au ciel (At / Ag) voir fig.(5.12)

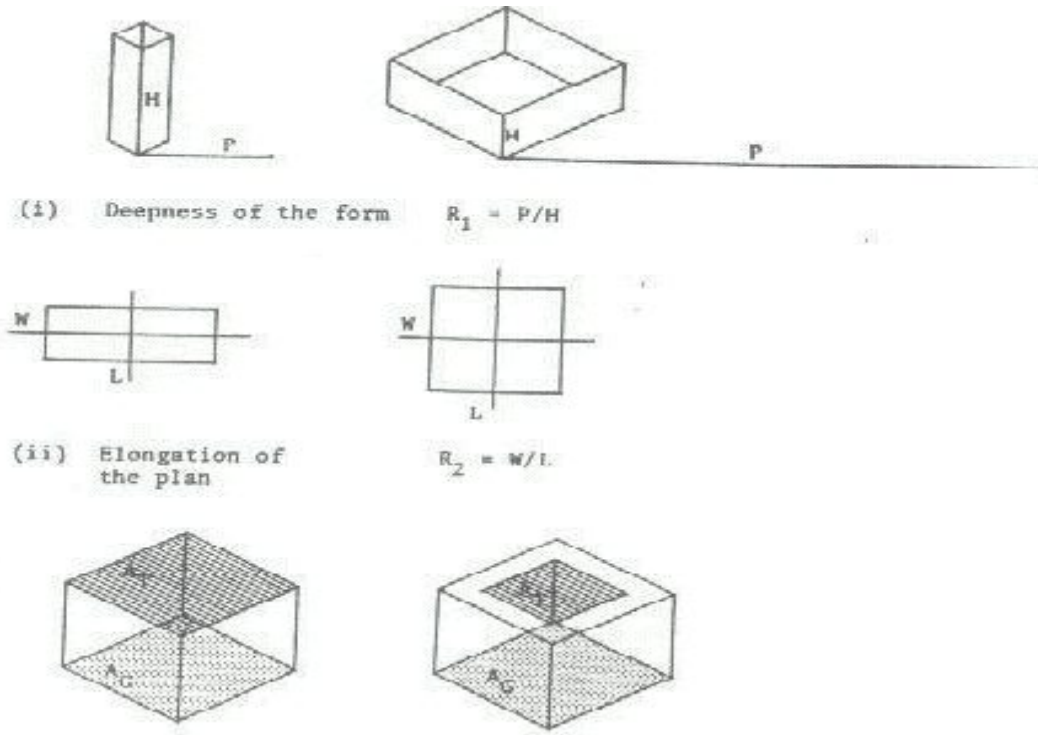


Fig : 5.14 Les ratios définissant les paramètres géométriques de la cour

Source :Mohsen M, 1979,p101

Le changement dans le Ratio R1 est plus accompagné d'un diminution de l'énergie incidente est plus prononcé pour l'hiver que l'été

Le changement dans le ratio R1 de 10 à 1 affecte L'énergie reçue en hiver de 85% et un diminution l'été de 75% pour le cas d'une forme carré. Cette diminution dans

l'irradiation est moindre dans le cas d'une forme plus allongée où le rapport entre la hauteur et la largeur est réduit (Valeurs de R2) .Voir fig. (5.15) et (5.16)

Suivant la même étude faite par Mohsen M 1979 déjà citée.

Le changement dans l'orientation n'a pas d'effet quand les valeurs de R1 = 1 ou 2

L'orientation commence à prendre effet pour des valeurs de R1 >3.

Le maximum est obtenu l'hiver à une orientation de 0°(l'axe longitudinal est suivant l'orientation Est-Ouest).Ainsi les résultats permettent d'affirmer que le changement dans l'orientation a peu d'effet pour les cours ayant des formes carrés, par contre les formes qui ont des valeurs réduites de R2 ;formes allongées ; sont les plus influencées par l'orientation. En général, l'effet de changement de l'orientation est plus marqué en été qu'en hiver. D'un autre coté l'étude révèle que la déviation de l'orientation optimale (suivant l'axeE-O) de 15° a un effet de 5% dans l'augmentation de la radiation solaire

Enfin L'introduction d'un auvent pour la radiation reçue par les murs ,n'a de signification que pour le cas du mur sud , l'effet est plus marqué que pour les autres trois murs .Voir fig. (5.17)

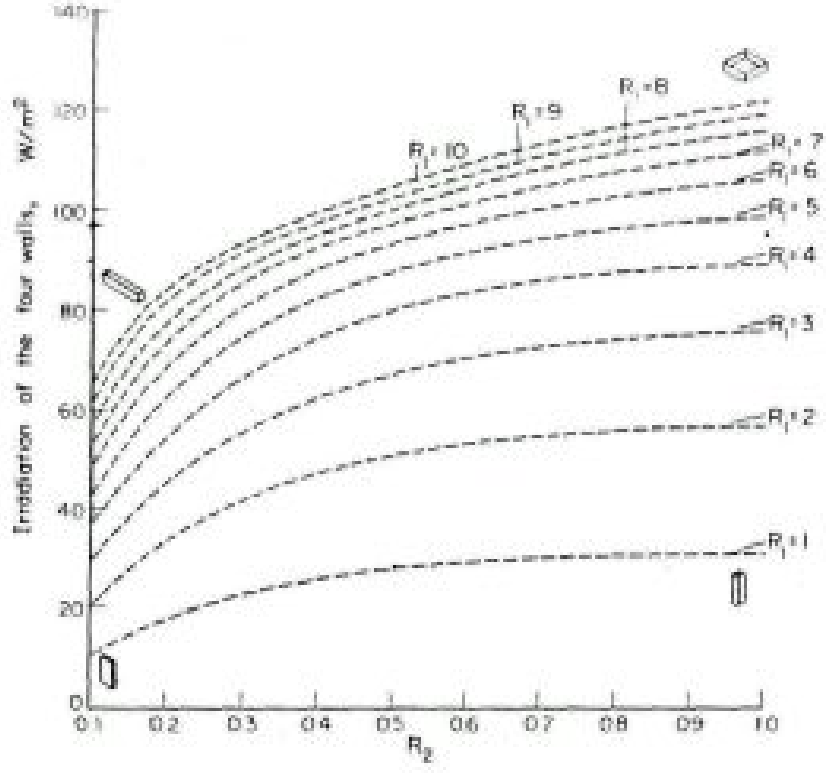


Fig :5.15 Effet du changement de R1 et R2 sur l'énergie reçue en hiver

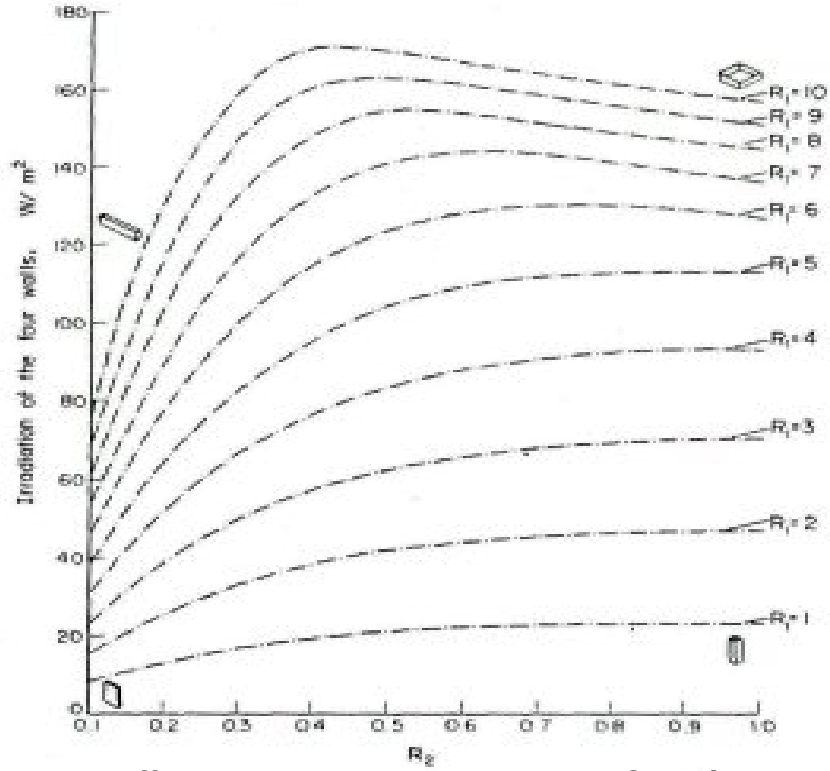


Fig : 5.16 Effet du changement de R1 et R2 Sur l'énergie reçue en été

Source :Mohsen .M ,1979 ,p192

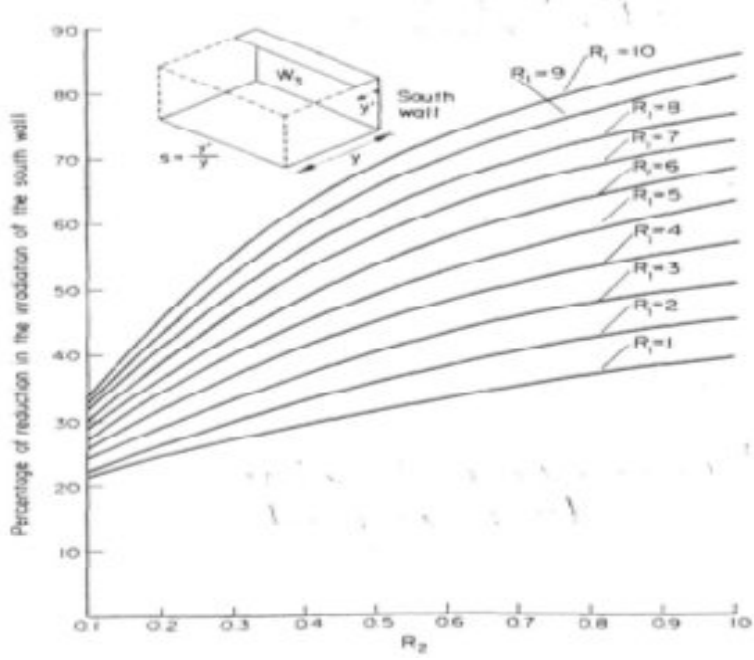


Fig : 5.17 Effet de l'introduction d'un auvent sur la façade sud

Source Mohsen M,1979, p193

5.8 - La cour et l'éclairage naturel

Pour terminer cette partie consacrée au contrôle du rayonnement solaire dans la cour il est intéressant de donner quelques informations sur la disponibilité de la lumière naturelle dans la cour, car les exigences de l'éclairage présentent quelques particularités comparativement aux gains solaires directs. Il est utile de donner des indications sur la spécificité de ce phénomène, même si l'importance de ce phénomène semble secondaire. Ceci peut s'expliquer par le fait que le taux d'éclairage requis dans la cour est plus facile à satisfaire que l'ensoleillement, ainsi l'intérêt est plus souvent porté sur les moyens d'assurer des gains solaires utiles. Ceux-ci en étant satisfaits garantissent un éclairage suffisant. Cependant ce qui est constaté sous nos latitude qu'on approchait le problème d'éclairage dans une logique de nuisance-protection, dans l'objectif par combattre l'excès de lumière ;surtout l'été ; l'intensité lumineuse, l'éclairement, les réflexions de surfaces, les effets d'éblouissement, sont des paramètres q'il faut estimer, mais ces effets sont toujours laisser aux hasards dans la conception des cours. En effet peu d'informations existent sur l'éclairage dans les espace extérieurs et les cours en particulier, souvent des règles de prospect fixent les distances séparatives entre bâtiments adjacents. « Ces mêmes règles sont rarement le fruit d'études approfondis. Parfois l'inexistence de règles oblige le concepteur à improviser » (15). Parmis les études empiriques celles proposées par Evans M, 1980, qui donnent pour chaque latitude, l'angle minimale qui correspond .

Pour la cas de l'Algérie trois latitudes sont concernées (20° -30° et 35°)qui correspondent respectivement aux angles d'espacement (50° , 45° et 40°).

5.9- Comportement physique de la cour

Le comportement physique concerne les élément contenus par la cour, ils sont naturels (eau et végétation) ou minérales (matériaux de construction)

5.10-Les éléments naturels

Le thème de l 'effet de l'eau et de la végétation dans les espaces extérieurs est un sujet très vaste, et les dispositifs liés à l'eau et à l'aménagement des végétaux sont sous différentes formes. Les qualités et les dimensions esthétiques associées à l'eau

---

15 Mazouz S , 2004, p181

et aux arbres sont nombreuses. Notre manière d'aborder ce sujet relatif à ces deux éléments naturels, consiste avant tous à démontrer leur capacité d'action régulatrice. En se basant sur une analyse bibliographique des différents travaux menés nous cherchons à faire ressortir les éléments utiles à la connaissance des différents phénomènes physiques mis en jeu et dans le but de démontrer la possibilité de création d'un microclimat favorable par une bonne disposition de ces deux éléments dans la cour.

5.10.1–Impact de la végétation

La végétation offre un ombrage saisonnier des édifices, fait écran contre les vents, rafraîchit par évapo- transpiration et filtre les poussières en suspension. La présence du végétal dans les espaces extérieurs contribue considérablement à leur qualité, naturellement très sensible à cet élément symbolique témoignant de la persistance de la nature même dans les endroits les plus artificiels, les plus construits par l'homme.

Par ailleurs, le végétal est un élément significatif de la composition d'un espace. Il souligne ou perturbe une composition trop minérale. Il varie avec les saisons et se développe, se taille et se modifie plus rapidement que les parties construites de la composition dans laquelle il s'insert. Le végétal est un puissant facteur modifiant de l'ambiance créée par la forme urbaine minérale. Le végétal crée un masque solaire qui n'est pas aussi absolu ni aussi permanent que celui généré par les bâtiments ou les éléments minéraux.

La densité d'un feuillage détermine une plus ou moins grande perméabilité à la lumière et aux rayonnements de grande longueur d'onde. Cette densité varie de façon sensible suivant l'espèce considérée, la configuration de son développement (étalage, taille etc.)et suivant la saison. En tenant compte de ces différents paramètres, on peut considérer que les arbres constituent trois types d 'écrans : un écran opaque, un écran semi -transparent et un écran transparent (16). Des coefficients de transmission solaire peuvent alors être définis pour différents types d'arbres fig. (5.19) et pour différents saisons .

Bien évidemment nous ne pouvons pas nous attarder sur chacun de ces points, tant la largeur du champ d'investigation nous éloignerais de notre recherche sur l'impact

---

16 Muret et al .1987, p162

Fig : 5.18- Une cour à l'Alhambra eau et végétation symbole de fraîcheur et détente

Source : Vinet J ,2000, p56

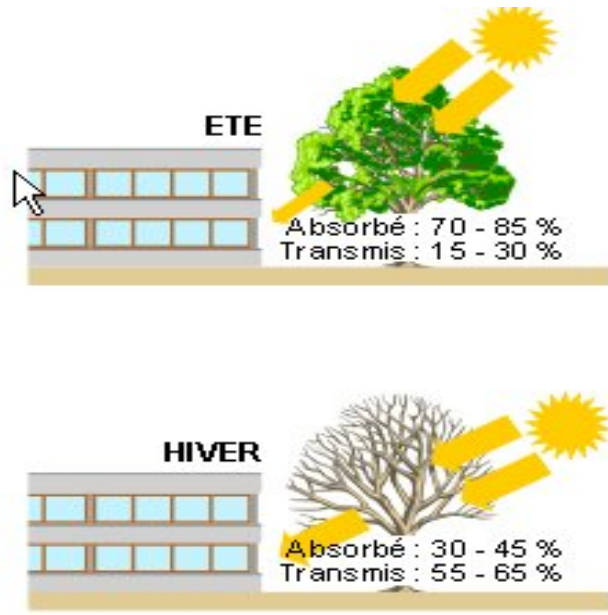


Fig : 5.19 Coefficient de transmission d'un arbre en été et en hiver

Source :www-energie. arch.ucl .ac.be

énergétique. Cependant des éléments de réponse sont avancés dans des ouvrages, qui ont traité la végétation avec plus de détail (Robinette 1972,.Izard 1979, Muret et al

Fig 5.19sur power point

1987,Givoni 1991, Maillet et al.1993 ; Guyot A , 1997 , Groupe ABC , 1997)

Les dimensions des arbres sont des paramètres importants aussi bien en tant qu'impact sur l'occupation que sur l'ombre générée par ceux-ci .La voûte formée par les feuillages protége des apports solaires et des éblouissements. « Les arbres de hautes tiges adultes à feuillage dense (platanes, micocouliers, peupliers) produisent un microclimat très performant lorsqu'ils recouvrent la totalité de l'espace. La masse foliaire se comporte alors comme un « plafond froid très profitable au confort thermique d'été » (17) voir fig. (5.20)

5.10.1.1- Température de surface des végétaux

Avec des mesures (thermographie infrarouge),l'équipe ABC de Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres ,a tendance à conserver une température voisine de la température de l'air sous abri et souvent même une valeur inférieure.

Autrement dit, sous un arbre, tout se passe comme si le rayonnement solaire était totalement annulé fig. (5.21). D'après Izard et al (18) le feuillage diminue l'effet du rayonnement solaire incident, contrairement à une couverture minérale ou métallique :

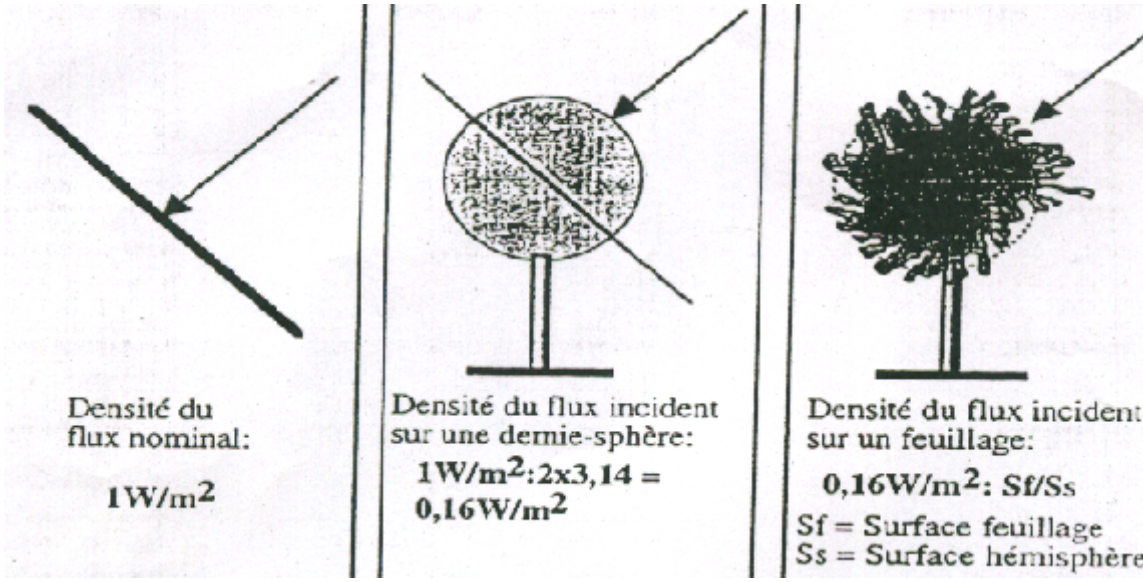

Densité du flux nominal:
1W/m2
Densité du flux incident sur une demie-sphère:
1W/m2:2x3,14 = 0,16W/m2
Densité du flux incident sur un feuillage:
0,16W/m2: Sf/Ss
Sf = Surface feuillage
Ss = Surface hémisphère

Fig : 5.21 : division de la densité du rayonnement solaire reçu par un feuillage

Source : Izard J L 1997

17Groupe A.B.C 1997, p114

18 Ibid p11

les arbres offrent une ombre sans émission de la chaleur (effet de plafond réfrigérant).Le comportement thermique du feuillage peut s'expliquer par les phénomènes de la photosynthèse et l'effet de division du flux solaire, cet effet de division consiste en le fractionnement du flux solaire en petites parcelles quand il atteint le feuillage, et donc sa densité ramenée à l'unité de surface réelle devient négligeable.

.

5.10.1.2- Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface

Des mesures indiquent que les températures de surfaces des murs orientés Est et Ouest en béton, protégés du rayonnement direct par des arbres, sont plus faibles en moyenne de 13°C par rapport au murs non protégé (19).

Des mesures thermiques par imagerie infrarouge, cet technique largement utilisée par le laboratoire ABC (Izard et al, 1997 et 1999) indiquent que la température de surface du feuillage est pratiquement équivalente à celle de l'air sous abri, même pour des conditions de rayonnement solaires très différentes. En effet, on peut relever que les différences de températures, des feuilles des faces supérieures et inférieures d'une pergola, pour un apport solaire de 465 W/m2, sont les mêmes à 1 °C près, l'écart n'étant que de 2°C pour un rayonnement de l'ordre de 930 W/m2.

Dans les illustrations suivantes, nous confirmons ce résultat (fig. 5.22). Les températures de surface observées dans l'infrarouge, indiquent que les zones de la couronne végétale de l'arbre qui sont à 27, 28 et 29 °C dans le cas où celui ci est dans un air à 28°C et soumis à un ensoleillement important correspondant à celui d'une journée ensoleillé d'été à ciel clair Alvarez et al 2000 (20)

Par le biais de la technique de la thermographie sur l'échelle thermique de l'image ci-dessous prise dans l'infrarouge, les couronnes végétales , les résultats de prise d'image par cette technique montrent que la température de feuillage sont égales aux températures d'air sous abri.

---

19 Parker J H ,1989 p46

20 Vinet J ,2000 , p73

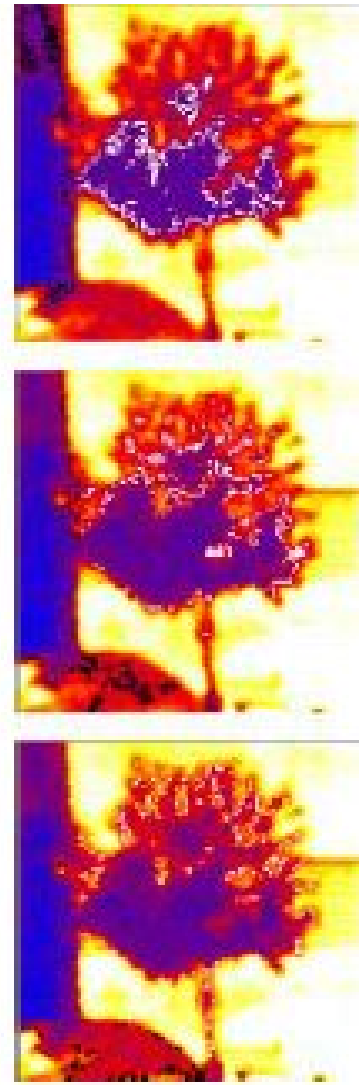


Fig : 5.22 Température de surface d'un arbre prise par thermographie
Source :Alvarez et al 2000 ,(In Vinet J 2000 p73)

5.10.1.3 -Cas de la pelouse

Une pelouse bien qu'elle soit en interface entre le sol inerte et l'air ambiant , connaît des échauffements modestes lorsqu'elle est soumise au rayonnement solaire .Ces échauffements disparaissent dés que ce rayonnement solaire cesse. Ainsi une pelouse à l'ombre d'un couvert végétal reste toujours une surface fraîche. L'absence d'inertie qui caractérise une pelouse ladistingue donc fondamentalement d'un sol

minéral qui a tendance lui à conserver la chaleur résultant de l'absorption du rayonnement solaire longtemps même après sa disparition.

Les zones de pelouse ont également tendance à équilibrer ; comme la couronne des Arbres ; leur température avec celle de l'air (21) .

La couverture végétale du sol est d'un grande importance. Comme il a été constaté qu'a l'ombre, une pelouse et une allée minérale ont presque la même température à 1°C d'écart. Ainsi, la pelouse reste un peu plus fraîche notamment grâce à son humidité matinale alors qu'au soleil, une allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse (11°C de plus). Les zones de pelouse ensoleillée atteignent des températures de 14°C plus élevée que celle de l'air tandis que pour les zones pavées et les murs la différence peut atteindre 25°C (22)

Un étude menée sur le site de Luminy (école d'architecture de Marseille)les résultats de revêtement sur le réchauffement du sol (Izard et al, 1997/98), les températures de surface des pelouses sont plus faibles que celles des allées recouvertes d'asphaltes .Ces écarts sont plu grands pour le cas des pelouses humides.

Les écarts de températures des surfaces sur l'allée minérale (entre la face ensoleillée et la face ombragée) est de 14.6°C, alors que l'écart est de 8,1 °C sur les pelouses sèches et seulement de 6°C sur les pelouses humides voir tableau (5.1).

	Ts (Ombre) °C	Ts (Soleil) °C
Allée	24.5	40.1
Pelouse sèche	22.8	30.9
Pelouse humide	22	28

Tableau 5.1-Températures du pavage minéral et des pelouses

Source : Izard et al 1997/98

5.10.2-Impact de l'eau

5.10.2.1.Introduction

« Au moyen âge, dans les pays islamiques, on déployait des efforts considérables pour rafraîchir l'air de la salle du trône ou des appartements du sultan. On bâtissait des

21 De la Tore et al .1998, p159

22 Ibid, p160

bassins et des fontaines pour rafraîchir l'air par évaporation » (23),

Plus récemment et à une échelle plus grande on arrosait les principales rues de paris et boulevards deux fois pendant les temps chauds d'été et jusqu'a cinq fois par jour les champs -Elysées pour « Ajouter un supplément de fraîcheur à l'avenue la plus fréquentée du monde » (24)

Il est également intéressant de remarquer que de nos jours, les stratégies de climatisation passive en extérieure développent des dispositifs favorisant l'évaporation de l'eau. Plusieurs dispositifs ont été largement utilisés, durant l'exposition universelle de Séville en 1992 voir fig.(5.23), ainsi que l'exposition mondiale de Lisbonne de 1998, incorporant des systèmes d'eau sous des cascades et brumisateurs**.** Ainsi les jets d'eau, les tours de refroidissement et les brumisateurs, apportent des solutions au contrôle thermique et climatique dans l'espace extérieur. Donc l'utilisation de l'eau selon différentes manières dans les espaces extérieurs et dans la cour cas de notre étude lors de l'aménagement peut être une solution adéquate , vu son pouvoir de rafraîchissement en l'associant à la conception de l'environnement architectural.

Fig : 5.23 Brumisateurs à l'exposition universelle de Séville 1992

Source : Vinet J ,2000, p68

---

23 Heschong ,.1988 p181

24 Vinet J,2000, p 64

5.10.2.2 – cas d'un bassin d'eau

L'eau trouve dans l'air ambiant la chaleur nécessaire pour passer de l'état liquide ou à l'état de vapeur ; la température de l'air se voit ainsi réduite et l'humidité relative de l'air augmente ; pour maximiser cet effet, il convient d'augmenter la surface de contact *air / eau* (plan d'eau etc.) et le mouvement relative de l'air par rapport à l'eau (jets d'eau, brumisateurs etc.) De nombreuses réalisations dans les climats chauds et secs utilisent l'eau pour rafraîchir les ambiances.

Les apports énergétiques solaires, qui en été peuvent atteindre des valeurs élevées et qui arrivent sur la surface de l'eau, sont faiblement réfléchis puisque le coefficient de réflexion n'est que de 3% pour les heures de rayonnement solaire maximal (25) . En particulier le comportement de l'eau est différent de celui de l'air. L'eau présente plusieurs particularités, elle se réchauffe et se refroidit plus lentement, par sa masse thermique élevée l'eau atténue les fluctuations de température ; en retirant de la chaleur à l'air pour passer à l'état de vapeur, elle réduit la température ambiante.

« La diffusion qu entraîne un changement de phase de l'eau liquide en vapeur d'eau à l'interface eau-air est le moteur qui permet de remplacer la vapeur d'eau qui est assimilée par l'air. Ce changement de phase nécessite une importante quantité Il faut

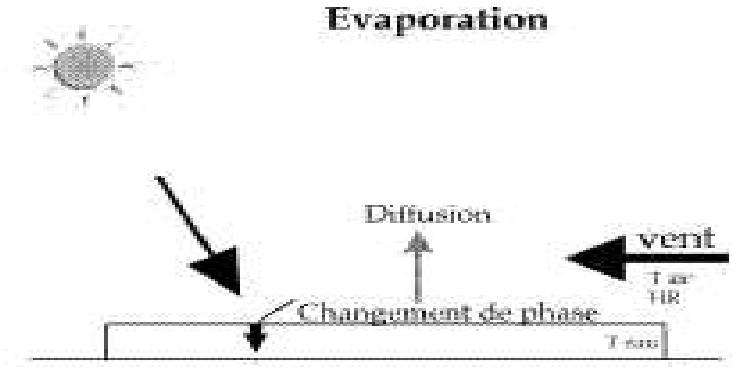


Fig 5.24 Transfert thermique d'un bassin d'eau

Source :Vinet J, 2000,p65

2450 KJ pour évaporer 1Kg d'eau, soit une épaisseur de 1 mm sur une surface de1 m² . Ainsi, lors de l'évaporation d'une zone d'eau un grande partie des apports énergétiques solaires sont perdus sous forme de chaleur latente, C'est pourquoi la

25 Ibid p65

température de l'eau est alors inférieure à celle de l'air durant la journée. » (26)

5.10.2.3–Cas d'une source ponctuelle d'eau « Fontaine »

Des mesures dans le sud de la France, ont permis de montrer les effets des fontaines. .En effet, les faibles échanges entre cette surface froide et l'air ne permettent pas un rafraîchissement, il ne concerne que la fontaine elle-même. Il ne faut donc pas compter sur une fontaine pour assurer la climatisation naturelle. Seuls les effet psychologiques peuvent être escomptés. Par contre, à proximité d'un grand jet d'eau, des mesures ponctuelles de l'air environnant ont montré qu'il y avait un effet d'humidification et de refroidissement (Group ABC, 1997)

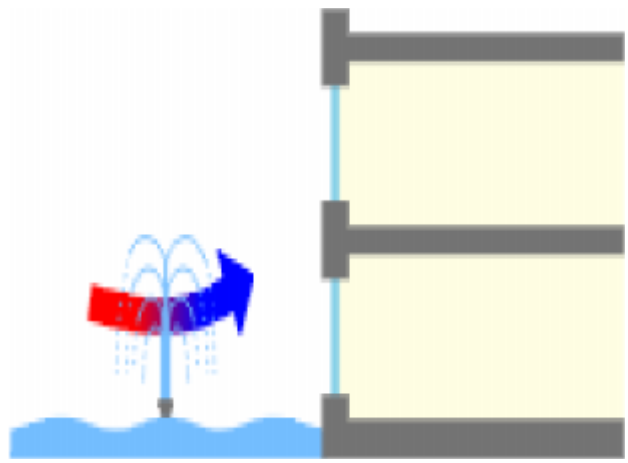


Fig : 5.25 Les effets d'échanges entre les parties froides et l'air d'une fontaine

Source :www-energie. arch.ucl .ac.be

5.10.2.4- Effet des jets d'eau

Il ne s'agit plus de plans d'eau, mais de l'eau projetée vers le haut en retombant en jet,

---

26 Ibid p66

des mesures faites par le groupe ABC(1997) ont montré l'existence d'un effet de refroidissement et d'humidification qui participe à la climatisation de l'espace extérieur

Fig :5.26 dispositifs de régulation thermique utilisés lors de l'exposition universelle de Séville 1992

Source : Architecture d'été Izard.j,1994

5.10.3 – impact de l'enveloppe

5.10.3.1 - La forme

Elle détermine une certaine surface de paroi, qui n'est pas uniquement la façade. La recherche d'une diminution de cette surface de contact extérieur /intérieur permet de limiter les échanges radiatifs en ce qui concerne l 'extérieur et limite les déperditions calorifiques en ce qui concerne l'intérieur.

.Afin de faire apparaître la proportion de surface de paroi par rapport au volume habitable et d'apprécier ainsi approximativement, les surfaces d'échanges, un coefficient utilisée appelé « coefficient de forme ». Celui ci est obtenu en faisant le rapport de la surface des parois directement en contact avec l'extérieur et du volume de la construction ce qui influe directement.sur le rapport *surface ombrée / surface éclairée*

Parmis les solutions citées par (27) que l'emploi de redents permet aux rayons solaires

---

27 Twarowski. M, 1968 p 42

d'atteindre une grande partie des intérieure, même durant les mois d'hiver, en admettant que l'axe de la construction soit situé dans la direction nord-sud.

5.10.4 – Les matériaux de construction

5.10.4.1- Introduction

La texture et la nature des parois (Verticales et horizontales) déterminent une grande partie de l'ambiance extérieure atours des bâtiments et pèsent également sur leur ambiance intérieure (compte tenu de la diversité des caractéristiques des matériaux (réaction au rayonnement, isolation, transparence. Au cours du développement des paragraphe précédents, Il a été clairement expliqué chaque matériaux présente des caractéristiques qui lui sont propres :un albédo, une conduction, une absorption et notamment une inertie thermique. Ces caractéristiques influent fortement les échanges thermique entre les surfaces et donc la nature de surfaces joue un rôle considérable dans la modification des facteurs climatiques . Afin de concevoir correctement l'enveloppe extérieur il est nécessaire de connaître à tout moment l'énergie effectivement reçue par celle-ci **.**

Toutes les parois émettent d'une façon continue un rayonnement et absorbent les rayonnements émis .L' émission et l'absorption du rayonnement jouent un rôle très important dans les échanges énergétiques qui se produisent à la surface extérieure de la cour **.**

5.10.4.2 - Parois verticales

Pour les parois verticales, la température de surface dépend de l'orientation et la nature de la paroi même, un matériau se caractérise par sa conductivité, ses propriétés vis-à-vis du rayonnement solaire (absorption ou perte) sa capacité calorifique, sa masse volumique et son état de surface (lisse ou rugueux) qui influencera sur les échanges par convection il est couramment admis que sous nos latitude les murs faisant face à l'est et surtout l'ouest reçoivent les plus grandes irradiations durant l'été par contre les murs faisant face au sud reçoivent le maximum d'irradiation durant l'hiver.

Ainsi un autre facteur et a prendre en considération c'est le pouvoir de réflectivité et de l'éméssivité du matériau, les martiaux qui ont une bonne éméssivité sont considérés comme des corps sélectives froids, parce qu'ils assurent le refroidissement rapide en émettant la chaleur par l'effet de rayonnement vers la voûte céleste. En été, l'orientation la plus défavorable est l'orientation Ouest, car ici le moment où l'énergie solaire incidente est la plus forte, correspondant en ce moment de la journée avec la température extérieure la plus élevée. L'orientation Est reçoit la même quantité d'énergie, mais pendant la matinée, lorsque la température d'air est plus basse, et les brumes matinales font qu'une orientation Est est moins sollicitée que l'orientation Ouest .L'orientation Sud, quand à elle, reçoit moins d'énergie. Enfin, l'orientation Nord est celle qui est la mieux protégée contre le rayonnement solaire. (28)

5.10.4.3 - Parois horizontales

le cas d'une paroi horizontale exposée au rayonnement solaire, la réflexion du sol etant généralement diffuse (non orientée) et difficilement contrôlée par des écrans ou dispositifs d'ombrage. Si le rayonnement solaire incident augmente, la température de la surface s'élève, d'où un accroissement de la conduction, de la convection et du rayonnement "ondes longues",. Pour le cas du sol, il reçoit la plus grande du rayonnement solaire 2 fois et demi-q'une paroi verticale et suivant sa texture en été une surface en bitume peut atteindre une température de surface de 80°C (29).Cependant la quantité de rayonnement réfléchi vers un mur vertical sera égale à la moitié du rayonnement réfléchi par une surface horizontale parfaitement diffuse. Cet effet de réflexion peut être limité en utilisant un revêtement d'asphalte ; par son pouvoir d'absorption ; proche d'un mur qui va diminuer de (5 à10%), mais présente un inconvénient vu que la chaleur abordée par le sol est très grande ce qui influe sur l'augmentation de l'air approximités du mur, une solution meilleure qui consiste à utiliser la verdure ou toutes autres sortes de végétation qui permet de dissiper la chaleur par le phénomène d'évaporation. Voir fig.(5.26)

---

28 Izard J L et al 2004

29 Liébard A tome II 2002

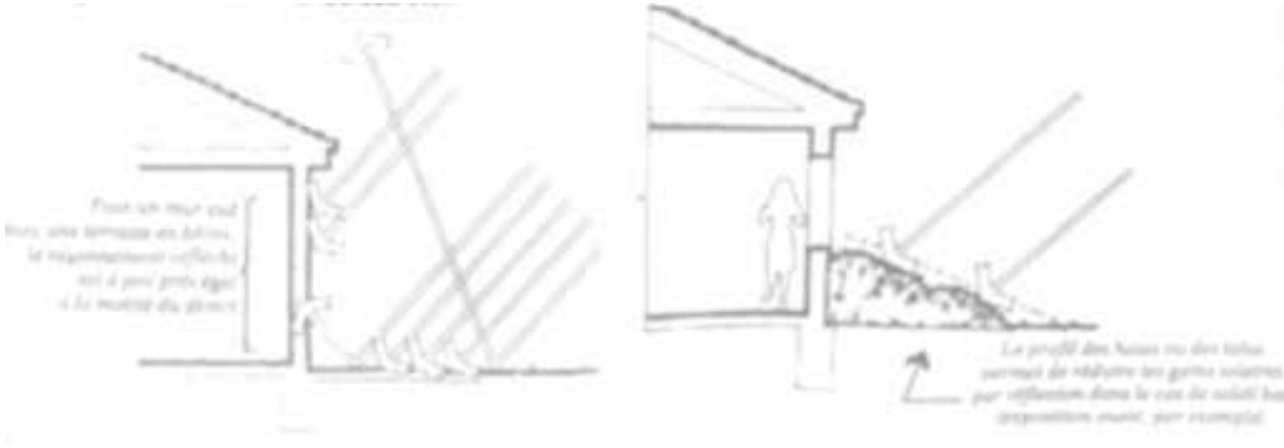


Fig :5.27 absorption de la radiation solaire par la pelouse approximités
Source:Watson et Camous ,1979 ,p131

5.10.4.4- Effet de la couleur

-Egalement la fraction d'irradiation absorbée par une surface dépend aussi de la couleur de cette dernière. Une surface peinte en blanc reflète entre (70 à 75 %)du rayonnement alors que les surfaces de couleurs sombres, marrons et noirs en absorbent environ 90%, ce qui fait q'une partie du rayonnement solaire irradiant une paroi est absorbée et l'autre est réfléchie. La partie absorbée est transformée en chaleur et accumulée dans la masse du matériau. La capacité d'absorption et de réflexion d'un matériau dépend de la nuance de chaque couleur, à laquelle correspond un coefficient d'absorption solaire, qui exprime la fraction absorbée du rayonnement solaire incident.

- Coefficient d'absorption solaire du blanc :0,2

-Coefficient d'absorption solaire du vert moyen :0,7 (30)

donc plus la couleur est claire plus la réflexion est importante. A l 'inverse plus la paroi est sombre, plus grande est la capacité d'absorption. Pour les climats chauds les couleurs claires participent à la protection du bâti.

---

30 Ibid Liébard A tome I , p26

Les risques de réflexion des parois verticales claires (éblouissement), sont à prendre en compte surtout dans les espaces extérieurs. Un autre phénomène à prendre en considération, un mur ouest pin en blanc réfléchit 70 à 80% du rayonnement reçu ce rayonnement peut avoir des effets négatifs sur une façade qui, par son orientation, était à l'abri du rayonnement solaire (31). Suivant une expérimentation menée sur deux parois orientées sud le 15 juin par ciel clair, la Première peinte en blanc et la deuxièmement en vert, la différence de température de surface entre les deux parois à été enregistré à 12h00 elle atteint 13°C (32).

Le choix des couleurs est un paramètre important, dans le choix d'aménagement d'une cour celle ci etant sollicitée par un très grand effet d'éblouissement donc la recherche de la couleur convenable est important pour le confort de l'usager de la cour et représente un complémentaire avec les zones ombragées.

5.11-Conclusion

Ce chapitre a été consacré a l'identification et à la compréhension de l'interaction des différents paramètres participant au confort dans la cour**.** L'objectif était d'identifier le rôle des caractéristiques formelles, spatiales et physiques de la cour et leur interaction dans le contrôle des flux solaires incidents et leur effets microclimatique. En premier lieu l'étude des paramètres géométriques de la cour a montré ce qui suit : les proportions de la cour que nous pouvons résumer en indicateurs (ratio)tels que le rapport hauteur /largeur ou profondeur de l'espace. Ils interviennent dans la détermination des facteurs de formes. Le ratio est directement proportionnel à la radiation solaire reçue. L'orientation est plus prononcée pour le cours en hiver qu'en été est selon l'axe longitudinale Est-Ouest, et qu'une déviation de 30% de cette orientation est tolérable et que L'influence de l'orientation apparaît surtout pour les cours allongées. L'étude des composants physiques (minéraux et naturels) , a permis d'étudier l'impact de l'eau et de la végétation ainsi que les matériaux de construction. Pour ce qui est de l'impact des éléments naturels, la bonne disposition et le type de végétation dans l'espace exerce une action considérable sur le climat régnant dans la cour, par sa capacité à stocker ou à restituer la chaleur, est un élément favorable

---

31 Ibid tome 03 P51

32 Ibid tome 01 P44

pour la réduction des températures de surface et de l'air, ainsi que l'eau, selon certains cas par des effets de rafraîchissement. Et enfin les matériaux de construction, la nature es matériaux aux façades et au sol : chaque matériau présente des caractéristiques qui lui sont propres : un albédo, une absorption, une conduction et notamment une inertie thermique. Ces caractéristiques influent fortement sur les échanges thermiques et énergétiques entre les surfaces. La nature des surfaces joue un rôle considérable dans la modification du microclimat dans la cour, l'étude a montré qu'un choix judicieux des matériaux ;en fonction de leur couleur ; peut participer en grande partie au confort extérieur par la réduction surtout du rayonnent solaire réfléchit. Il est à conclure que les différents éléments et composants qui contribuent au bilan énergétique, interviennent de manière complexe à la création du microclimat régnant, ce qui fait que le microclimat régnant dans la cour dépend de plusieurs paramètres qui sont eux mêmes en étroite relation le uns avec les autres. Ainsi il est difficile de prédire l'ambiance climatique dans la cour qui s'avère une tache difficile, en effet l'évaluation du niveau d'ensoleillement et le contrôle de la radiation solaire dans la cour peut être d'une réelle complexité due principalement au caractère conflictuelle de nombreuses exigences à satisfaire. A cela s'ajoute les variations saisonnières qui constituent des données additives au problème. Cependant, cet étude a permis une bonne compréhension des différents paramètres qui interviennent dans les échanges thermo-radiatifs dans la cour, et a fourni un capital de données de base très important pour la phase simulation des cas d'étude. D'ou le prochain chapitre sera consacré a la phase pré-simulation qui consiste a la modélisation de ces échanges thermo-radiatifs au niveau de la cour.

6.1- Introduction

Les interactions entre les éléments composants la cour et les flux solaires sont complexes. Il n'est pas possible de faire des diagnostiques à première vue sur le microclimat engendré, d'oŭ il est nécessaire de tester l'influence des différents paramètres. Les effets induits sur le climat local etant nombreux (échauffement, refroidissement, circulation d'air, etc.. Tous ces changements ne peuvent pas se vérifier par une combinaison linéaire de phénomènes connus séparément. Ainsi, seules les simulations numériques permettent une estimation de ces différents effets. La flexibilité des outils de simulation et la réduction constante des temps de calcul, permettent de tester rapidement l'influence des différents paramètres, ainsi que la confrontation des différents scénarios, car des intérêts opposés ou des stratégies d'amélioration d'ordres divers apparaissent. Les techniques informatiques permettent aujourd'hui de restituer visuellement, de manière très fidèle, des environnements architecturaux et urbains. Les maquettes virtuelles ainsi créées représentent les objets dans les trois dimensions de l'espace et peuvent contenir tous les attributs nécessaires à leur visualisation réaliste (les couleurs et textures notamment, mais également les éclairages ou les effets atmosphériques comme les phénomènes d'ensoleillements, écoulements aérauliques etc.

6.2 –Choix du logiciel

6.2.1- Le modèle thermo-radiatif « Solene»

Ce modèle, développé au laboratoire CERMA (Centre d'Etude et de Recherche Méthodologique en Architecture (Péneau 1989, Marenne et al. 1992,Groleau 1998 et 2000 et 2004 (1). Depuis plusieurs années vise l'analyse des aspects de l'ensoleillement et de l'éclairage naturel]. Il constitue un système ouvert qui permet d'analyser les

---

1 Le logiciel à subit des modifications et des améliorations à travers ces années

phénomènes solaires, lumineux et thermique dans les projets architecturaux et urbains. L'aspect thermique concerne l'analyse des températures des surfaces de l'enveloppe des bâtiments ; elles résultent des différents échanges produits au niveau de la surface externe avec l'air, le ciel, l'intérieur des murs et les autres surfaces environnantes. Il est organisé autour de fonctions de simulation qui permettent d'aborder les ensembles construits suivant divers paramètres physiques et de fonctions de visualisation qui rendent compte des comportements observés à travers le temps. Solene autorise donc une large gamme d'exploitation des résultats des simulations : tracé d'ombres, quantification d'ensoleillement, potentialités solaires des enveloppes des bâtiments, intensité lumineuse, facteur de ciel, intensité des réflexions lumineuses, bilans énergétiques des façades, …etc. Une application récente du modèle sur un îlot situé dans le centre de Marseille (Groleau et al. 2003)a permis de valider la pertinence du modèle quant aux aspects thermo-radiatifs.

Le principe adopté pour la modélisation dans Solene considère une scène architecturale ou urbaine comme un ensemble de facettes planes et polygonales. Celles ci sont discrétisées en facettes et contours. Les facettes sont opaques, et baignent dans un air transparent au rayonnement. Les caractéristiques physiques des matériaux qui composent la scène sont supposées connues. Le logiciel Solene, est opérationnel dans un environnement Windows pour PC.

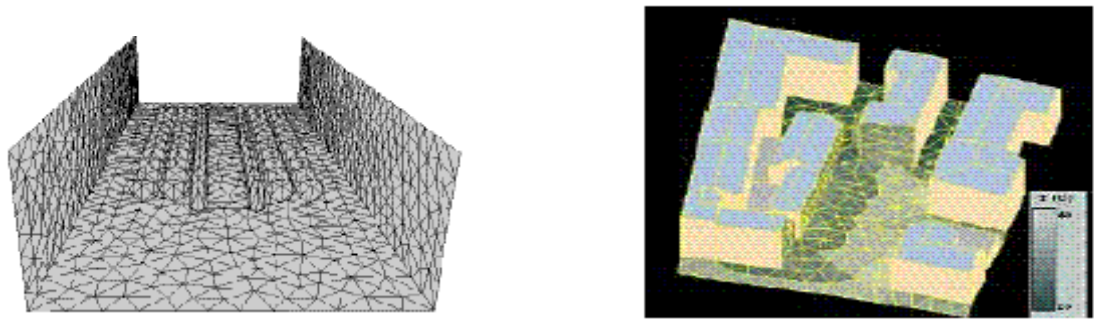


Fig : 6.1 Cour triangulée finement

Source : Vinet.J, 2000,p134

Le logiciel Solene va nous permettre d'évaluer les énergies solaires globales incidentes sur les parois et le sol. Ces flux seront ensuite intégrés pour évaluer les températures de surface. Selon cet enchaînement dans les phases de calcul, nous présentons dans un premier temps la manière dont sont évalués :

A partir du maillage d'une cour, Solene permet de déterminer les zones ensoleillées et à l'ombre ainsi que les composantes directes, diffuses et réfléchies des quantités d'énergie pour chacune des faces des parois discrétisées (maillées. Les flux solaires nets absorbés par les parois et le sol sont déterminés grâce à des traitements numériques successifs. Ces traitements sont résumés à travers les étapes suivantes la modélisation géométrique et le maillage de la scène à simuler. Dans notre cas, cela représente l'ensemble des parois qui constituent l'enveloppe de la cour le calcul des flux solaires directs et diffus incidents sur les éléments des parois le calcul des facteurs de forme Le calcul des flux incidents après les multi-réflexions (calcul de radiosité) (1)

6.3 - Définition des principes de simulation

6.3.1- Etapes préalables aux calculs solaires

Avant d'aborder les procédures, les techniques et les principes des traitements spécifiques pour effectuer les simulations solaires dans les cours, il est important de fixer certains paramètres qui sont communs aux différents cas simulés. Ces paramètres concernent l'orientation, la latitude et la longitude sous laquelle on désire effectuer les calculs et l'heure choisie pour le déroulement des simulations.

---

(1) $S = Si \cos \theta$

. S représente la densité de flux du rayonnement au niveau de la surface ; Si est la densité de flux selon une direction normale à la surface ; et θ l'angle entre la direction du rayonnement solaire et celle de la normale à la surface.

6.3.2-Paramètres en entrée

Les simulations numériques vont être conduite Sur un ensemble de configurations de cours (seront présentées dans le chapitre suivant)

Concernant la journée choisie, pour les simulations Puisqu'il s'agit d'étudier les cours dans des conditions de climat contrasté, nous avons choisi d'évaluer les flux solaires durant les journées du 21/06 et le 21/12 qui peuvent être considérée comme des journées type puisqu'il représentent les solstices d'été et d'hiver. La latitude et la longitude choisie pour les simulations. La latitude est fixée à 36.6 Nord. Elle correspond à la latitude de la ville de Constantine. La longitude quant à elle fixée à 6.37° Est. L'orientation de la cour étant une variable de l'analyse paramétrique elle doit être fixée au tout début des traitements choisie. Les propriétés solaires et thermiques des parois et du sol. Chaque coefficient qui intervient dans le calcul est soit une valeur constante soit un fichier de valeurs. La cour constituée de géométrie masque et de géométrie de la scène(à simuler), cette dernière est triangulée avec une surface de mailles définies. Ainsi les éléments suivants sont à fournir.

-Paramètres temporels : heure de début simulation et de fin simulation

-Paramètres météorologiques : les températures météo (sèches sous abri)pour les journées considérées

6.4- Modélisation de la géométrie « masque »

Selon la terminologie propre à Solene, une géométrie « masque » contient l'ensemble des obstacles susceptibles de masquer le soleil aux différentes facettes qui constituent la scène à simuler. Dans notre cas, la géométrie masque représente toutes les parois éléments naturels (arbres qui font masque au soleil.

6.5- Calcul des flux solaires directs et diffus incidents.

Dans Solene, l'énergie solaire est évaluée à partir de deux composantes : la composante directe et la composante diffuse.

6.5.1- Flux solaires directs

Le calcul des flux solaires directs dans la scène repose sur la connaissance des parties ensoleillées au cours du temps. Cette fonction permet de simuler les conditions d'ensoleillement de la scène considérée (la cour maillée) et de déterminer les apports solaires directs reçus par les différents éléments de cette scène. Il s'agit donc de

distinguer les parties au soleil et celles à l'ombre à travers le temps (technique des masques). Cette technique consiste à déterminer les obstacles géométriques qui empêchent le point analysé de voir le soleil, dont la position est fixée dans le ciel au cours du temps. Pour chaque facette de la scène, des procédures de projection sphérique appliquées au centre de chaque élément de la scène étudiée permettent de constituer l'ensemble des obstacles susceptibles de masquer le soleil (occultations). A travers l'analyse de ces projections sphériques, l'ensoleillement des facettes de la scène peut être connu au cours du temps. Les valeurs des flux directs que les différentes facettes ensoleillées reçoivent, dépendent de l'angle d'incidence (angle que forme la direction du rayon solaire et la normale de la facette) des rayons solaires sur chaque facette.

6.5.2- Flux solaires diffus

Les flux solaires diffus proviennent du rayonnement solaire diffusé par l'atmosphère.

Il est donc nécessaire au préalable de modéliser géométriquement le ciel et lui appliquer un modèle de radiance solaire. La méthode utilisée pour la détermination des flux solaires diffus repose sur l'analyse de la voûte céleste. Celle-ci est modélisée comme étant un hémisphère à triangulation géodésique (de rayon infini par rapport aux dimensions de la scène) sur lequel sont fixées, selon une distribution statistique et spatiale, des valeurs d'énergie solaire sur chaque facette de ciel. Les fonctions de distributions statistiques sont établies pour différentes conditions d'insolation en tenant compte du type de ciel (clair, couvert sombre, couvert clair, etc.).

.A chaque élément de ciel est affectée une valeur de luminance énergique applicable à toute la surface de l'élément et calculée en son barycentre.

Plusieurs modèles de radiance solaire sont implémentés dans Solene tels que les modèles de ciel type CIE normalisés (clair, sombre ou couvert).Solene permet de simuler n'importe quel type de ciel à partir de deux coefficients e et, le premier traduit le degré de pureté du ciel, le second sa luminosité . A noter que "e" peut varier de 1 à 12 (1 correspondant à un ciel totalement couvert, des valeurs supérieures à 6 à un ciel dégagé) ; ε se situe quant à lui dans l'intervalle 0,01 à0,6 (0,05 indiquant un ciel sombre et 0,5 un ciel très brillant).

Diapositive sur power point n°22

(6.2)

Une fois les modèles géométrique et énergétique de ciel définis, l'évaluation de l'énergie diffuse est obtenue en évaluant en tout point de la scène à étudier(préalablement discrétisée) l'énergie reçue de la voûte céleste. L'observateur de la scène est le point à analyser. Il regarde verticalement vers le haut avec un champ de vision de 180° lui permettant ainsi de voir l'ensemble de la voûte céleste. Une projection perspective des éléments de la scène est alors réalisée, constituant ainsi dans l'image 2D l'ensemble des occultations du ciel. Le ciel modélisé est également projeté de la même manière venant ainsi se placer en second plan de l'image (les éléments du ciel sont à l'infini) (2).

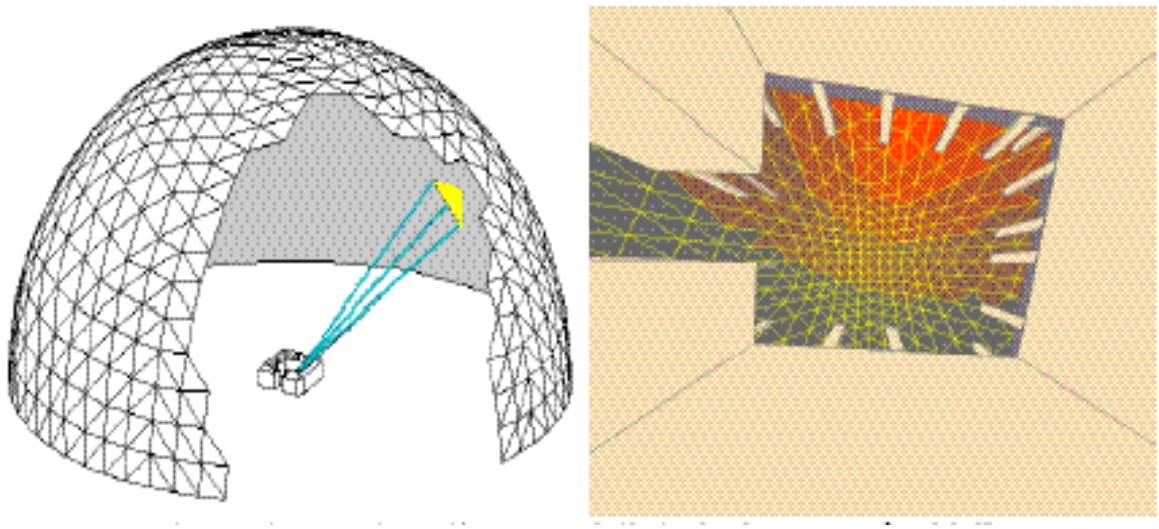


Fig : 6.3 Voûte céleste modélisée

Source : Miguet et al 1996, p65

6.6- Flux échangés entre surfaces (facteur de forme)

Les flux échangés entre facettes triangulées de la géométrie simulée, sont calculées à l'aide d'un descripteur ; nommé facteur de forme. Ce facteur de forme permet de

---

2 Groleau D,2000 p36

connaître le pourcentage de chaque facette visible de toutes les autres facettes de la scène. Connaissant les facteurs de forme, il est possible de calculer la densité de flux de chaleur échangée par rayonnement de grande longueur d'onde entre chaque élément de surface. Le facteur de forme entre deux surfaces est uniquement fonction des relations géométriques entre ces deux éléments et plus précisément de leur distance (d) et de leur orientation relative. Le facteur de forme entre deux surfaces élémentaires dépend essentiellement des relations géométriques. mentionné plus haut. Le facteur de forme entre la surface Ai et la surface Aj, voir fig.(6.4)

L'évaluation des facteurs de forme conduit donc dans Solene à déterminer dans une scène de n contours (chaque facette étant constituée d'un contour) n*n facteurs de forme en tenant compte des masques de la scène. Les résultats sont alors stockés dans un fichier binaire qui est utilisé pour traiter les multi-réflexions. Cette étape du calcul est la plus coûteuse en temps (3) fig.(6.5) .

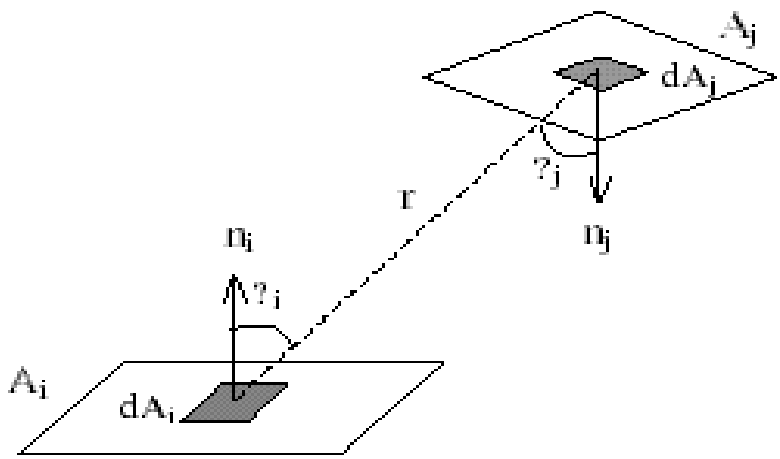


Fig :6.4Facteur de forme entre deux surfaces

Source : Vinet J ,2000,p6

3 Groleau 1998 P4 6

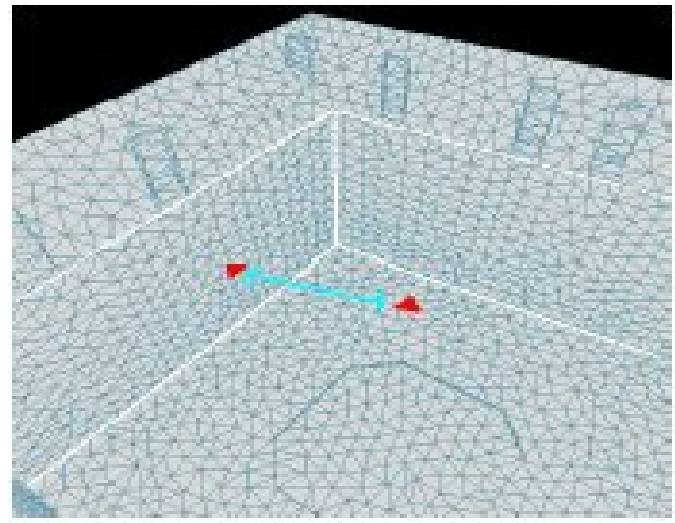


Fig : 6.5 : Facteur de forme entre deux contours

Source :Groleau D , 2000, p5

6.7- Modélisation géométrique des arbres

Les arbres sont modélisés géométriquement par un ensemble de facette constituant deux volumes convexes, délimitant respectivement la couronne végétale et le tronc. Le nombre de facettes doit être suffisamment important pour permettre une représentation globale des caractéristiques morphologiques des arbres considérés (par exemple, un arbre de hauteur maximale 15 mètres et de hauteur de tronc 3 mètres) Cette géométrie peut être obtenue par la définition d'un profil type Fig(6.6), qui par symétrie détermine l'enveloppe des végétaux. Ces faces sont ensuite discrétisées et à chaque facette est associé un certain nombre de descripteur (zone végétale, albédo solaire, éméssivité, coefficient de transmission solaire, température de surface) de manière à permettre la détermination des zones à l'ombre et au soleil, le calcul de flux solaires transmis à travers la couronne végétale, l'évaluation des facteurs de forme entre les différentes facettes de la scène, le bilan des échanges de grande longueur d'onde et le calcul des températures de surface des éléments de l'espace urbain.

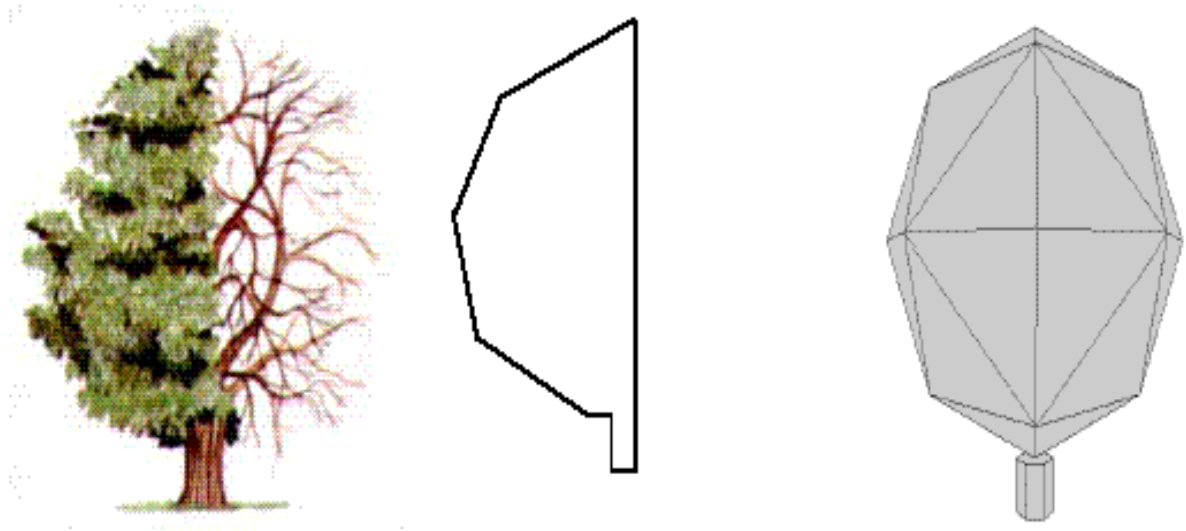


Fig : 6.6 Ensemble de faces d'un arbre modélisé

Source : Vinet J , 2000, p153

6.7.1- Transmission solaire à travers la couronne végétale

Jusqu'à présent, nous considérions que la couronne végétale pouvait être délimitée par un ensemble de surfaces opaques. Ainsi le tracé d'ombre dû à un arbre, était certes convenablement obtenu mais le calcul des apports solaires au niveau du sol, sous un arbre était équivalent à celui en présence d'une paroi, c'est-à-dire que nous obtenions une valeur de flux solaire incident direct nulle. Cette première approximation reste valable pour le cas des arbres ayant une forte densité de feuillage ne permettant pas au flux solaire de passer. arbres. Un récent sous programme,« transmission_ c » (4) grâce auquel, nous pouvons désormais affecter à une surface des caractéristiques de transmission solaire. Dans le cas des arbres, nous considérons que chaque facette ne laisse passer qu'un certain pourcentage de flux incident de telle manière qu'après la traversée de la couronne, le flux solaire transmis représente 10 à 20 % du flux incident

4 Groleau 2004 p32

et non pas une valeur nulle Fig (6.6). En situation hivernale, cette opération est également intéressante. En effet, certaines variétés d'arbre à feuille caduque laisse un certain pourcentage du flux incident. La procédure consiste à créer un fichier masque, le fichier de valeur correspondant au masque (0 pour face opaque et 1 pour non-opaque), la latitude (en degré), le jour et le mois, l'heure du début, l'heure de fin, le pas de temps. Les traitements des faces cachées prennent en compte le fait qu'une face non-opaque est toujours considérée comme visible. Le fichier de sortie est constitué de valeurs de flux transmis (en %) pour chaque face et pour chaque contour du fichier d'entrée.

6.8- Résumé des différentes étapes de calcul

Nous résumons ici les différentes opérations qui doivent être menées dans le logiciel Solene pour le calcul des flux solaires absorbés et les températures de surface par les parois . La terminologie que nous employons ici est celle utilisée dans le manuel d'utilisation de Solene (5). Préparation des données nécessaires aux calculs :Différentes opérations doivent être réalisées dans le logiciel Solene avant de pouvoir procéder au calcul des températures de surface en régime transitoire La plupart des étapes que nous décrivons ici sont détaillées dans le manuel d'utilisateur [Groleau 1998]. Les températures de surface et les flux solaires seront calculés en externe dans un programme appelé : transitoire_h_option.c .

La terminologie employée est mentionnée entre guillemets.

- Le fichier de géométrie de la scène peut être défini, soit par des logiciels d'aide à la conception comme Arc+ ou Autocad, soit directement dans Solene. A partir de ce fichier nous devons discrétiser l'espace par triangulation en appliquant l'opération « Transformer Par Triangulation » ou par quadrangulation en appliquant l'opération « Transformer Par Quadrangulation » en indiquant la dimension de la surface de la maille ainsi créée et définir un fichier masque de la scène (celui-ci n'a pas besoin d'être discrétisé)

---

5 Groleau 1998 en 64 p

- La localisation du lieu est une donnée importante qui se détermine en précisant la latitude et la longitude.
- Chaque face ou facette doit être associée à une base de matériaux de manière à pouvoir effectuer les différents calculs. De même certains descripteurs peuvent être affectés aux facettes.
- La création d'un ciel est nécessaire et consiste à préciser le niveau de discrétisation de celui-ci et son type.
- Un modèle de radiance solaire lui est associé en indiquant le jour, le mois, l'heure du début et de fin, et le pas de temps. Ses données préparatoires permettent de passer à l'étape des simulations :
- La visualisation des zones au soleil et à l'ombre est possible grâce à la fonction « Au Soleil– A l'Ombre » pour la journée donnée et les heures de simulation envisagées.
- La composante directe de l'énergie solaire est alors évaluée pour la même période en précisant à nouveau dans le module « Energie Solaire – Composante Directe » la géométrie masque et la géométrie ciel. A l'issue de cette étape l'énergie solaire directe est sauvegardée selon trois composantes : incidente, absorbée et réfléchie. Il est également possible de sauvegarder ces trois éléments en ne considérant pas les masques de la scène.(simulation AM ou simulation SM)
- La composante diffuse de l'énergie solaire est calculée en indiquant le ciel et le modèle de radiance solaire retenue dans le module « Energie Solaire – Composante Diffuse ». Les énergies diffuses sont sauvegardées selon les mêmes désignations que précédemment.
- La simulation de la composante globale de l'énergie solaire est obtenue en cumulant les énergies solaires directes et diffuses incidentes avec masque dans la partie « Energie Solaire Globale ». L'ensemble des flux calculés s'exprime en W/m².. Les flux solaires incidents globaux précédemment évalués sont réfléchis par chaque élément de la scène en utilisant la technique de radiosité. Pour réaliser cette opération il est nécessaire e calculer le facteur de forme
- En présence de végétation le pourcentage d'énergie transmis à travers la couronne peut être défini comme décrit précédemment.
- Le calcul des facteurs de forme est également une étape essentielle qui doit être réalisée avant le calcul des températures de surface à l'aide du module « Facteur de Forme», mais qui est indépendante des étapes précédentes et peut ainsi être effectuée

à n'importe quel moment. élément et l'ensemble des éléments de la scène. Pour résumer les paramètres en entrée sont les suivants :

- Les géométries : scène, masque, ciel
- Paramètres géographiques : latitude, longitude et orientation de la scène
- Paramètres temporels : mois, jour, heure de début simulation, heure de fin simulation, pas de temps
- Type de ciel pour la période considérée
- Caractéristiques des surfaces pour tous les éléments triangulés de la scène : albédo solaire et coefficients de transmission solaire

Les résultats en sortie :

A l'issue de ces simulations, de nombreuses informations peuvent être recueillies à la fois dans Solene pour chacune des mailles du site. Les résultats correspondent à des données surfaciques en sortie de Solene.

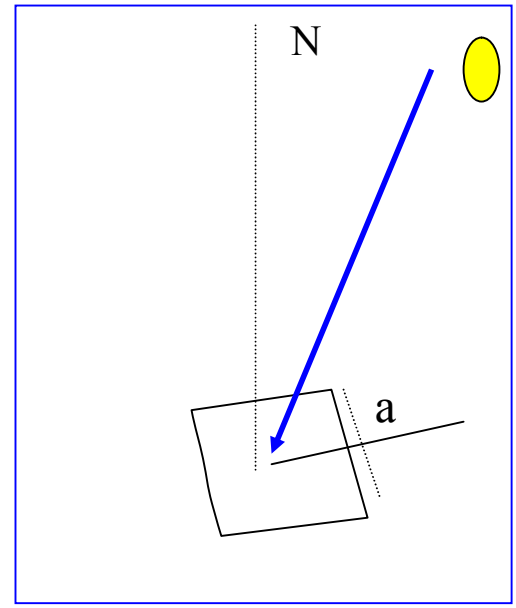
Densités de flux solaire :

- incident direct
- incident diffus
- incident transmis à travers la couronne végétale des arbres
- densités des flux de grandes longueurs d'ondes échangées :
- avec les surfaces

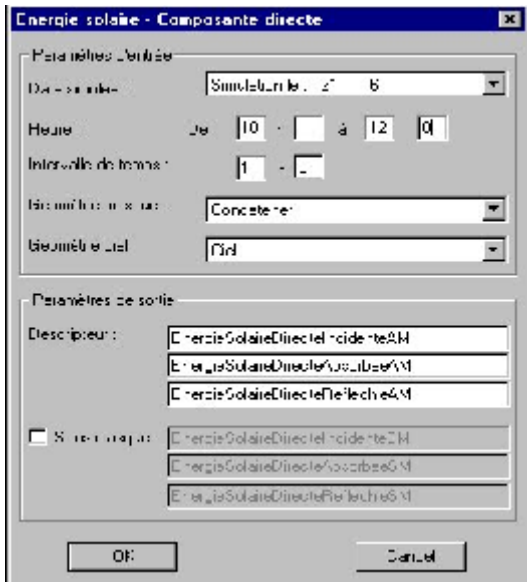
Température des parois et du sol :

- au niveau des surfaces extérieures et intérieures
- au niveau des nœuds des différentes couches

Simulation_ énergie_ Solaire_ Composante Directe



Pour chaque contour ensoleillé



En fonction des coefficients du matériau de chaque face

La simulation produit 3 descripteurs

- énergie solaire **incidente** directe
- énergie solaire **absorbée** directe
- énergie solaire **réfléchie** directe

Fig : 6.7 simulation de l'énergie solaire directe dans Solene

Fig 6.8

Le étapes de la simulation

6.9- Simulation du confort thermique exterieur

6.9.1- Modélisation géométrique du « bonhomme confort »

L'individu doit être représenté sous forme de facettes de manière à pouvoir réaliser les différentes opérations nécessaires à la simulation des conditions de confort en espace extérieur. Le « bonhomme confort » peut alors être modélisé soit par un parallélépipède rectangle, soit par un cylindre ou soit par une association de facettes organisées de telle sorte que l'individu soit plus ou moins réaliste Fig (6.9). Ces approximations géométriques sont facilement améliorables, mais induisent une augmentation significative des temps de calcul, notamment lors de la détermination des facteurs de forme entre les facettes de l'individu et les facettes de l'environnement composé des autres surfaces et du ciel. La seule condition géométrique à retenir est d'obtenir une surface totale du corps modélisé de 1.8 m2, valeur correspondant à l'aire de Dubois pour un sujet « standard » de 1.7 m et 70 kg (6)

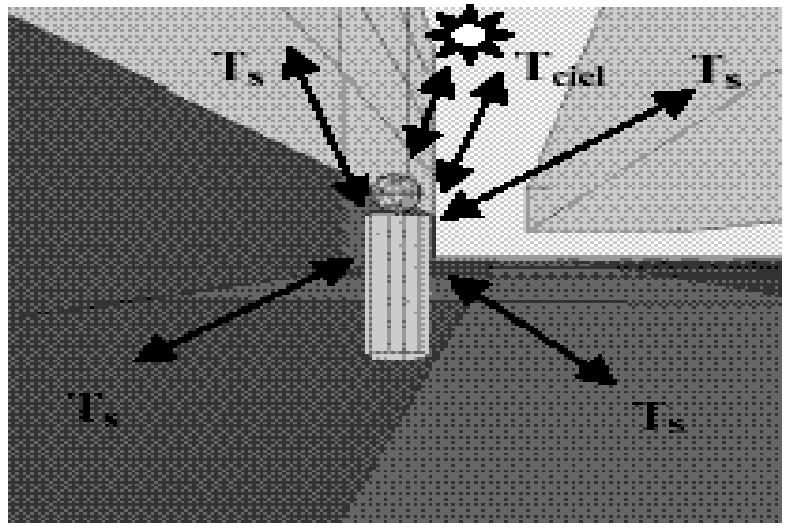


Fig :6.9 –Bonhomme confort modélisé

Source : Vinet J ,2000, p174

6 Vinet J ,2000 , p173

6.9.2- Les paramètres en entrée pour la simulation

La modélisation des différents transferts radiatifs et des facteurs de forme entre un individu et son environnement permet d'évaluer un paramètre important dans la définition du confort en espace extérieur, la température radiante moyenne. Nous avons déjà défini les différents flux qui permettent de l'évaluer dans le chapitre sur le confort thermique.

Un programme appelé « proc_out_mrt.c » a été développé pour déterminer la température radiante des masques et une géométrie de ciel. Un fichier descripteur permet d'obtenir la localisation du piéton (sur le sol, devant un mur ou au centre de la cour,...), le fichier des surfaces de l'individu modélisé et maillé, la valeur de la température d'air météo, la hauteur du soleil pour le calcul des facteurs de projection solaire, les flux solaires incidents directs et diffus sur les différents patchs de la scène maillée, les températures de surface, les vitesses d'air, l'albédo et l'éméssivité des surfaces. En sortie nous obtenons un fichier de températures radiantes moyennes calculées aux différents emplacements du « bonhomme confort ».(7)

6 .10 Les indices de confort en extérieur dans Solene

Plusieurs indices de confort extérieur peuvent être déterminer dans le logiciel Solene certains de ces indices en été largement discutés dans le chapitre sur le confort thermique en extérieur .Parmis les indices qui ont été développés et améliorés dans l'exposition universelle de Séville, le taux de sueur régulatrice , oū le seuil de confort a été fixé à 60g/h pour une personne assise et 90 g/h pour une personne en mouvement (8) . D'autres indices tel que le PMV , le PPD et le DISC peuvent être calculés dans Solene dans un programme appelé Confort-C , les paramètres en entrée sont la température (pour l'estimation de la température équivalente du ciel), l'humidité relative à la station météorologique, la température et la vitesse et de l'air pour chaque maille de la scène. Les températures radiantes moyennes peuvent être soit calculées pour chaque position à partir des températures de paroi et des facteurs de forme, soit

---

7 Groleau D 2004, p34

8 Vinet J , 2000 , p175

calculées en intégrant l'ensemble des flux radiatifs. Ces bilans solaires concernent les flux incident direct et les flux incidents diffus à l'heure de simulation choisit. Dans ce programme nous considérons un individu « standard » de 1.7 m et de 70 Kg (surface de Dubois = 1.8 m² (9) pour lequel il suffit de donner la valeur du métabolisme (relatif à l'activité) exprimée en met (1 met =58.2 W/m²) ainsi que la résistance thermique des vêtements exprimée en clo (1 clo = 0.155 m2 °C/W). En se reportant au calcul présenté dans le chapitre

6.11 – Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de décrire le plus précisément possible la manière dont nous envisagions la simulation numérique des différents transferts de chaleur (par rayonnement de courte et grande longueur d'onde, par convection et par conduction) dans les cours.

En nous appuyant sur le logiciel Solene, l'application de cet outil numérique. permet d'obtenir l'ensemble des informations microclimatiques désirées. en régime variable permettant l'intégration des différents transferts de chaleur .Ainsi, après avoir décrit les principes généraux de modélisation de la simulation. A chaque niveau, les paramètres d'entrée et les conditions initiales nécessaires aux différents calculs sont présentés. L'organisation des programmes développés dans ces perspectives traduit la démarche mise en œuvre :

- Un programme de calcul des flux solaires incidents transmis : transmission.c
- Un programme de calcul des températures de surface et flux solaires nets en régime variable sans transitoire_h_option.
- Un programme de calcul des températures radiantes moyennes : proc_out_mrt.
- Un programme de calcul d'indices de confort thermique en espace extérieur : confort.c

---

9 La surface totale du corps (Adu) est donnée par la formule dite « aire se Dubois » en fonction de la masse e de la taille de l'individu, elle est donnée par :

Adu = 0.203x Min 0.245 X Tin 0.225

Min représente la masse de l'individu

Tin représente la taille de l'individu

Des études de simulation de cas complètes sur des configurations diverses de cours etant a traité dans le chapitre suivant .A l'issue des simulations, la caractérisation microclimatique dans les cours et la détermination des conditions de confort, notamment par le calcul de la température radiante moyenne et de certains indices de confort thermique applicables en espaces ouverts extérieurs sont deux points importants qui peut être mise en avant par ce type de démarche.

7.1- Introduction

Avant d'engager l'analyse quantitative, il est nécessaire de définir certaines étapes préalables qui permettent d'asseoir la mise en œuvre des différentes simulations futures.

En premier lieu, il est indispensable de fixer les paramètres que nous projetons d'étudier. Une fois arrêtés, il est indispensable de définir à partir de leurs combinaisons, des cas d'études représentatifs de ces paramètres. Le logiciel pour les simulations etant fixé, ce chapitre est organisé en deux sections. La première sera consacrée à l'identification des paramètres représentatifs de la conception pouvant engendrer une variation dans le comportement de La cour. Ces paramètres doivent être appliqués sur des géométries types de cours qu'il faudra ensuite définir et dimensionner. Les paramètres définis viendront se greffer un à un à ces géométries pour donner naissance aux configurations définitives qui serviront de support aux traitements numériques. Les configurations retenues étant formalisées, nous aborderons par la suite la simulation.

L'identification de ces paramètres a été effectuée grâce à l'analyse bibliographique, qui nous a permis de déterminer un certain d'entre eux, qui ont manifestement une incidence sur l'ambiance climatique d'une cour. Ceux qui nous semblent pertinents à tester dans le cadre de l'analyse paramétrique sont :

- l'orientation de la cour
- les dimensions spatiales de la cour
- les différentes configurations et géométries
- le rapport de la hauteur à la largeur
- la présence de la végétation dans la cour
- application des indices de confort

Après avoir déterminé les paramètres à faire varier, comment établir le domaine de variation de chacun d'entre eux. Pour engager l'étude paramétrique, il est nécessaire de déterminer exactement l'échelle et les dimensions des cours à étudier, le choix des matériaux ainsi que leurs caractéristiques.

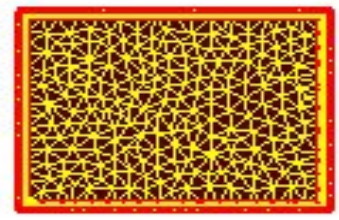
7.2- Dimensions spatiales des géométries à étudier

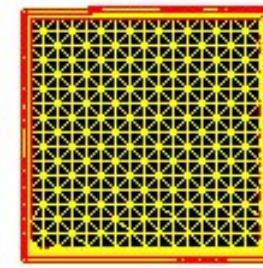
Les dimensions spatiales des géométries des cours qui seront retenues pour les simulations, doivent répondre à deux exigences. D'une part, elles doivent être représentatives et conformes aux dimensions le plus souvent rencontrées dans des édifices comprenant une cour. Pour déterminer ces dimensions il est donc nécessaire de s'appuyer sur l'analyse des géométries d'exemples existants. Outre cet aspect architectural, il faudra, d'autre part, veiller à respecter les dimensions réglementaires qu'une cour doit remplir servant de support d'application aux simulations.

Les configurations choisies pour la simulation sont : rectangulaire étroit, rectangulaire large, carré , également en prendra leurs dérivées (trois quarts, cour ouverte).

Les proportions considérées entre la longueur et la largeur sont :1/3 2/3 et 3 /3 (formes le rectangle de proportion 1/3, 2/3 et 3/3 et automatiquement 3/1 et 3/ 2 par effet de changement de l'orientation. spatiales

Suivant les paramètres à étudier déjà fixés plus haut, et pour chaque cas, il est envisagé pour chaque cour étudiée la configuration optimale. La prise en compte de ces formes géométriques primaires, du fait que ces formes courantes sont les plus fréquemment rencontrées dans les îlots des édifices publics étudiés (cas de l'école d'architecture de Constantine, hôpital, lycées, écoles etc.) voir chapitre IV.





Cour 1/3 **Cour 2/3** **Cour 3/3**

Fig :7.1 Les formes de base des cours à simuler

Source : Solene

7.3- Protocole de la simulation

Les propriétés physiques et thermiques des facettes associées aux matériaux sont présentées dans le tableaux (7.1)

Coefficient thermique	éméssivité	conductivité	Masse volumique (kg/m³)	Capacité thermique (J/kg K)
Parois en béton claire	0.9	0.9	2100	870
Sol en dallage de béton	0.9	0.75	2300	960
Arbres	0.95	Non	Prise en	Compte

Tableau : 7.1 propriétés physique et thermiques des matériaux

- Valeurs moyennes pour les parois

,épaisseur = 0.3 m, .α parois = 0.6 ε =0.90

- Valeurs moyennes pour le sol

0.2 m, αsol = 0.60. épaisseur = 0.5 m

En plus des valeurs des flux solaires et des températures de l'air qu'il faut initialiser au début du calcul, il est important de noter qu'un certain nombre de paramètres doivent eux aussi être précisés avant d'amorcer le calcul des flux solaires nets et les températures de surface :

- Le coefficient d'échange superficiel intérieur global est fixé à la valeur standard de hint = 9 wm²/°C
- Les coefficients convectifs extérieurs : il s'agit de donner une valeur au coefficient convectif pour chaque facette du maillage. Dans notre cas les valeurs des coefficients convectifs qui sont prise en compte sont ceux qui correspondent à des conditions de vent faible 15Wm²/°C l'été ; 20Wm²/°C l'hiver.

 la température du sol : elle est prise égale à 27°C pour l'été et 13°C pour l'hiver, elle correspond à la température moyenne sur les 24heurs (données métrologiques) imposée à une profondeur de sol de50cm

 les températures moyennes de l'air pour deux journées types, d'été et d'hiver

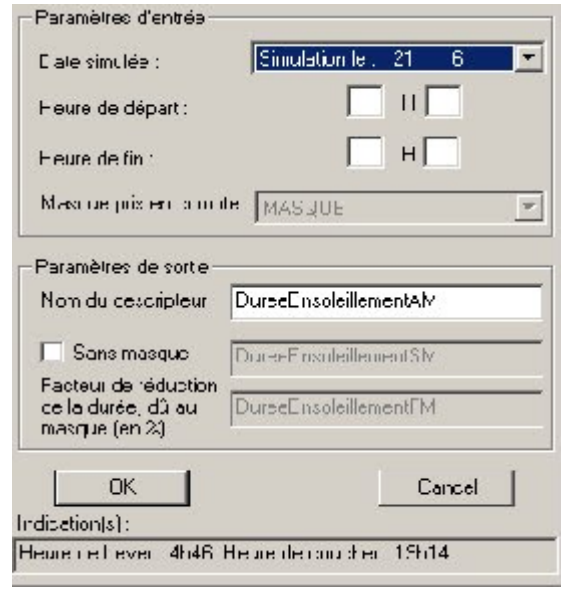


Fig : 7.2- Le lever et le coucher le21juin calculés par le logiciel

Source :Solene

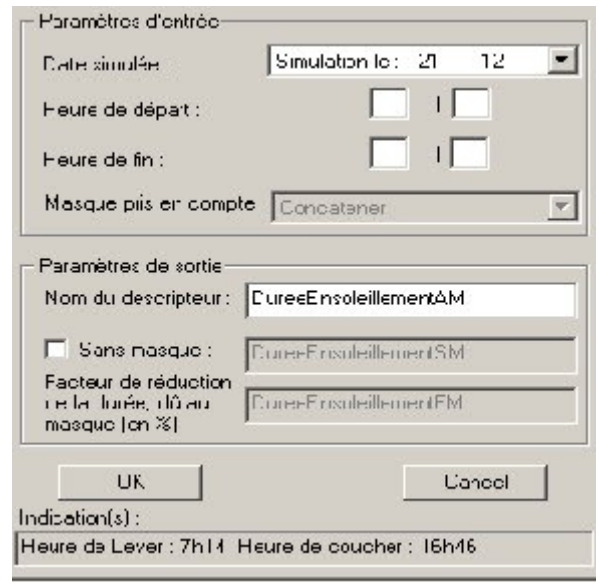


Fig : 7.3- Le lever et le coucher le 21 décembre calculés par le logiciel

Source : Solene

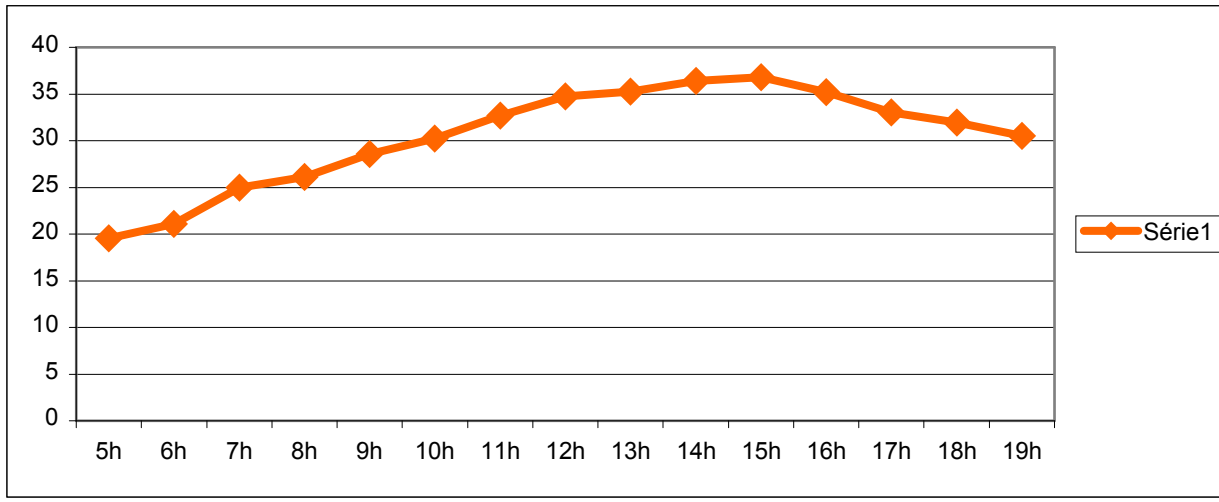


Fig.7.4- températures de l'air en (°C) le 21 juin

Source :Station métrologique Mohamed Boudiaf(année 2003)

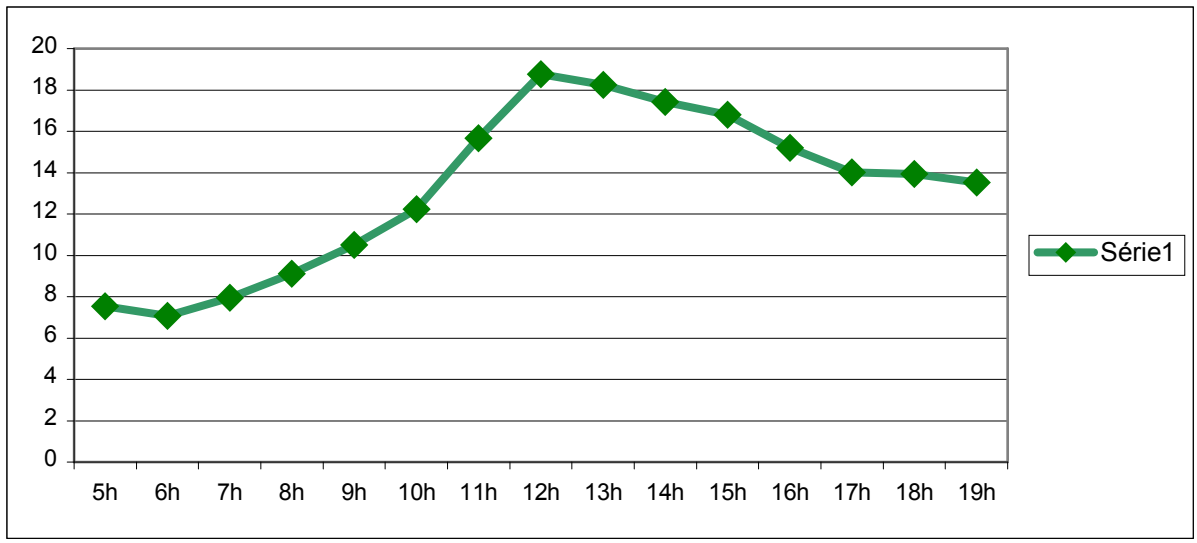


Fig.7.5-Température de l'air le 21décembre

Source :Station métrologique Mohamed Boudiaf **(**année 2003)

Les paramètres relatifs aux données géographiques, temporelles et météorologiques étant présentées, il nous est désormais possible de passer à la simulation des transferts thermo-radiatifs en reprenant les étapes décrites dans le chapitre sur la modélisation thermo-radiatif (chapitre six). Ainsi, nous présentons les différentes

modélisations géométriques retenues pour les modèles à simuler qui ont été déjà définis et pour arriver à une caractérisation microclimatique des cours à simuler nous il a été constitué par le biais du logiciel Solene des projet qui représentent à chaque fois les géométries masques prises en compte et les géométries simulées.

7.4- Effet de l'orientation

Pour mettre en évidence l'effet de l'orientation la cour rectangulaire de surface 1200 m² a été choisie et cela suivant la configuration de proportions 1/3 ce type de configuration cour allongée permet mieux de saisir l'effet de l'orientation.

Notre travail se fait suivant deux sortes d'analyses, une première analyse globale des bilans d'ensoleillement, en utilisant les durées d'ensoleillent pour chaque paroi ainsi que les rayonnements directs incidents et une autre analyse plus localisée, il s'agit des flux solaires nets absorbés et les températures de surface.

En premier il a été lieu d'évaluer les durées d'ensoleillement des parois et le sol de la cour choisie selon différentes orientations. Deux journées types ont été choisies qui correspondent aux solstice d'été et d'hiver le 21 juin ; l'été 2003(1) et le 21 décembre de la même année, pour trois orientations : Nord/sud, Est/ouest et Nord-est/Sud-ouest.

7.4.1- Bilan d'ensoleillement

Les graphes et tableaux présentés ci-après montrent les résultats obtenus. Ils donnent pour les deux journées d'été (le 21 juin) et d'hiver (le 21 décembre)et pour les trois orientations choisies, une visualisation du rayonnement solaire direct incident sur la période simulée du lever au coucher(de 05h00à 19h00 pour l'été) et de (08h00 à 16h00) pour l'hiver. Pour les durées d'ensoleillement et pour chaque orientation

---

(**1**) Les données de l'été 2003 ont été prises vues qu'elles représentent l'été le plus chaud de la décennie(source : station météorologique Mohamed Boudiaf)

Orientation -NS **Orientation -EO** **Orientation- NE.SO**

Fig : 7.6- Différentes orientations cour rectangulaire 1/3 à12h00 l'hiver

Orientation -NS **Orientation -EO** **Orientation- NE.SO**

Fig : 7.7- Différentes orientations de la cour rectangulaire 1/3à14h00 l'été

orientation, une durée identique de référence a été prise afin de comparer équitablement les deux journées représentatives de l'année, soit de 8heures à 16heures, ce qui représente 480 minutes. La procédure mise en œuvre repose dans cette étape sur la connaissance des surfaces ensoleillées au cours du temps, afin d'évaluer par la suite les flux solaires nets absorbés et les températures de surface .pour les différentes parois et le sol (2).

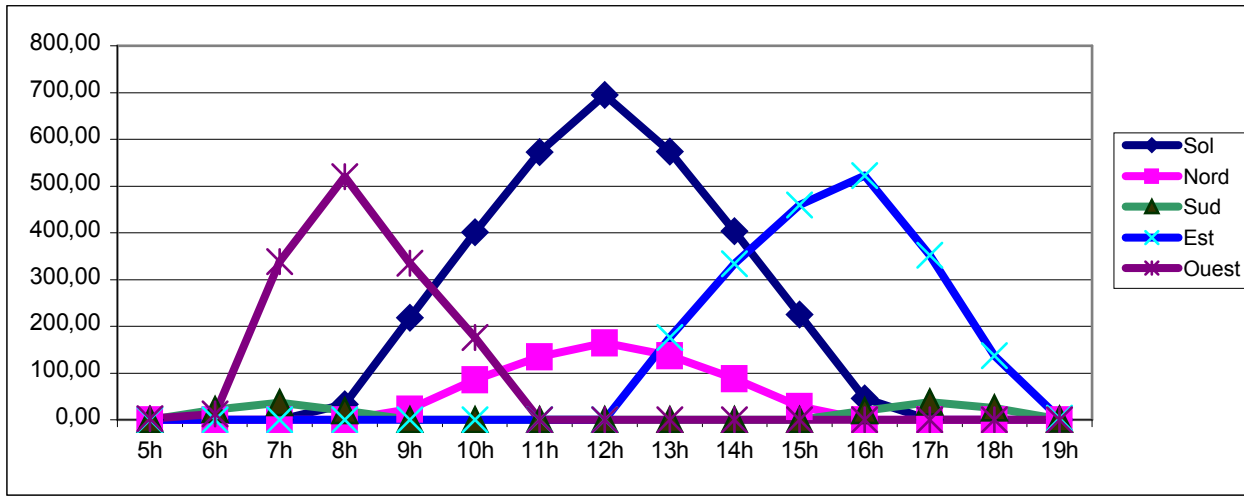


Fig : 7.8 Energie solaire directe incidente orientation NS le 21 juin

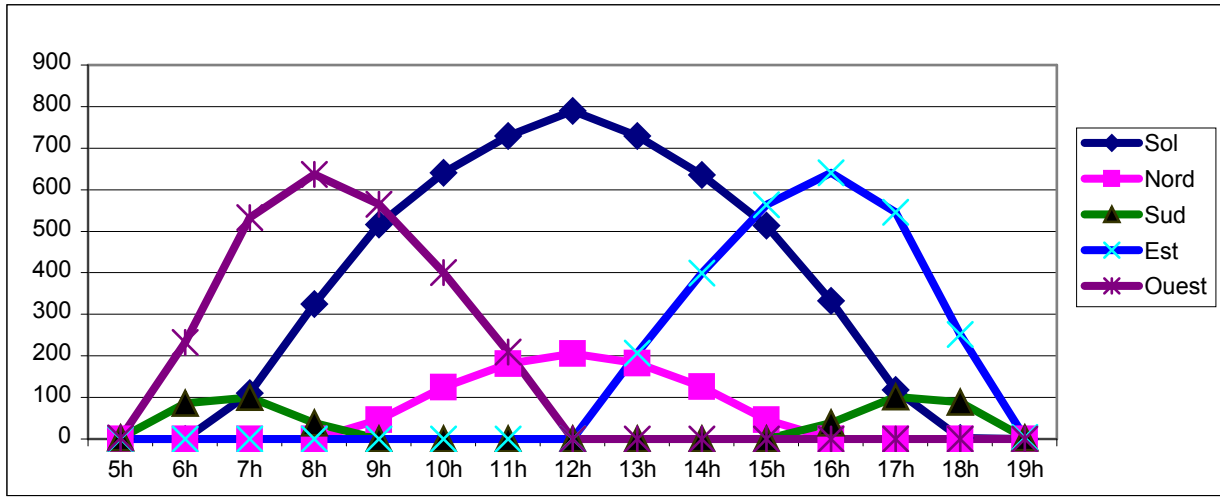


FIG: 7.9 Energie solaire incidente en w/m² orientation EO le 21 juin

---

(2)Dans cette partie les résultats vont être présentés avec un peu de détail, ainsi que les différentes étapes de la simulation, pour les simulations suivantes seuls les résultats seront présentés, les détails seront en annexe

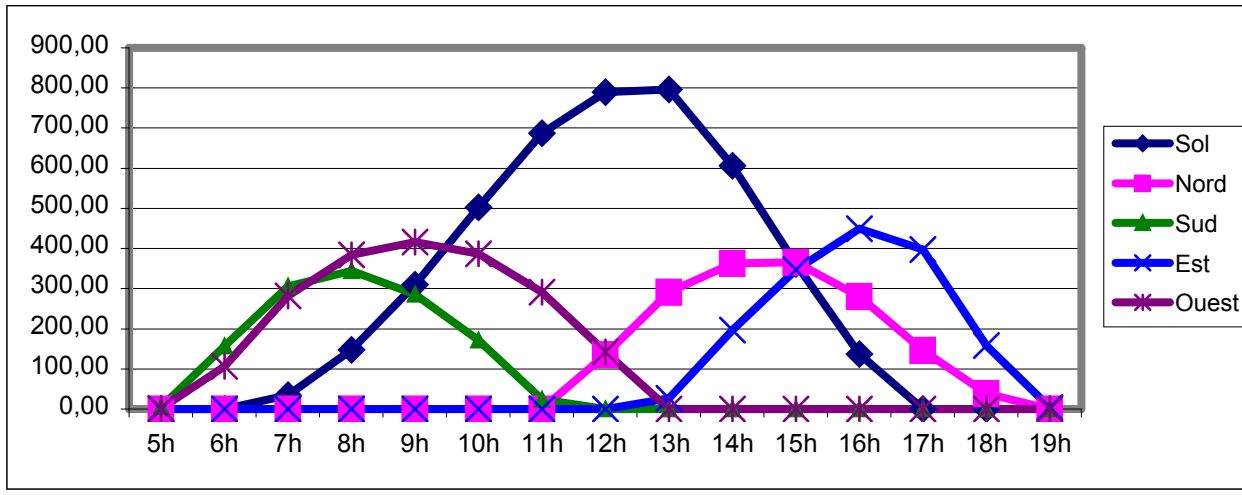


Fig : 7.10 Energie solaire incidente5 w/m² orientation NE/SO le 21 juin

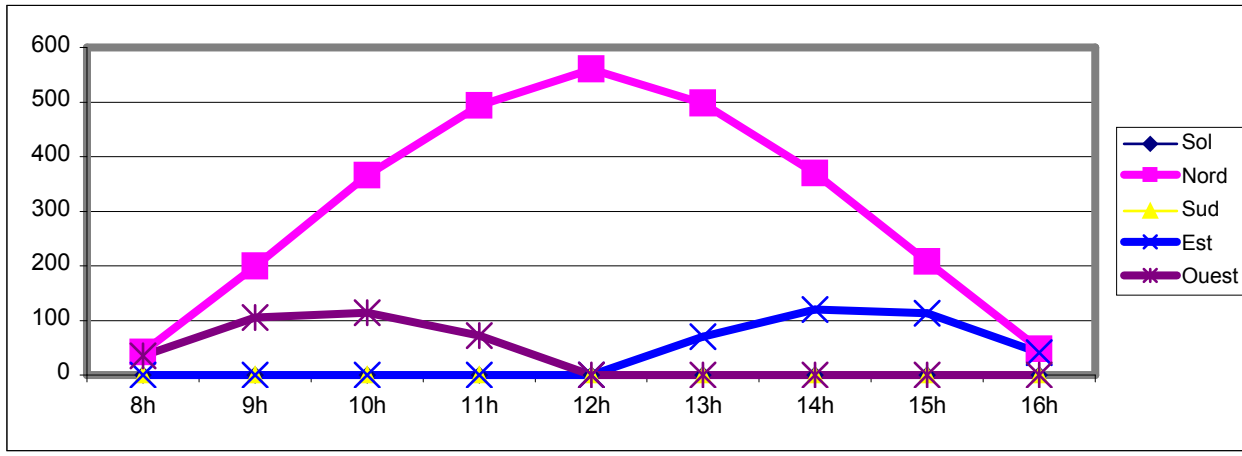


Fig : 7.11 Energie solaire incidente en w/m² orientation EO le 21 décembre

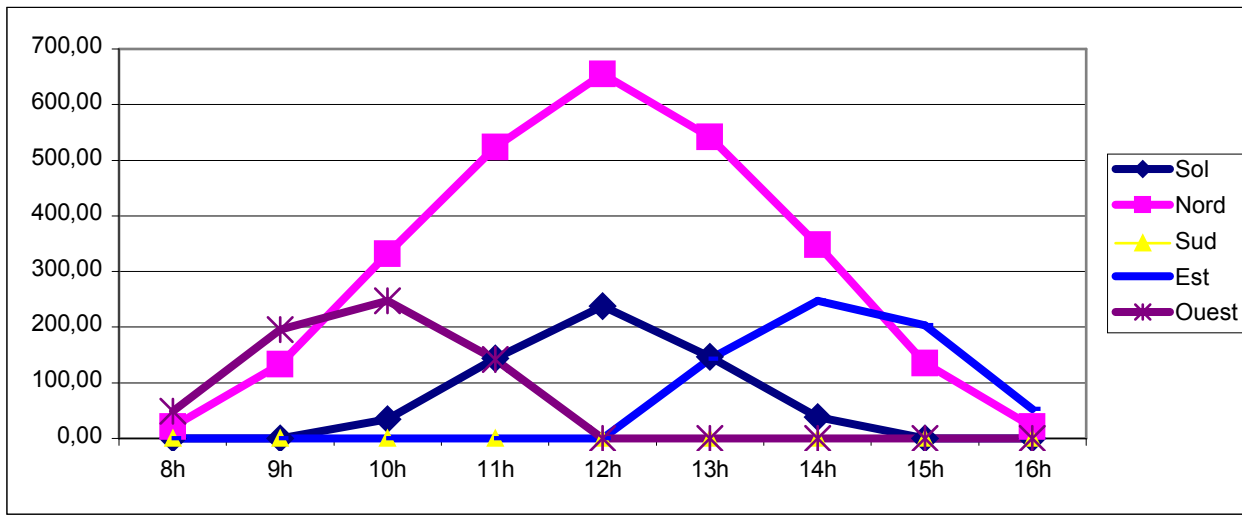


Fig : 7.12 Energie solaire directe incidente en w/m² orientation NS le 21 décembre

Nb : la paroi sud ne reçoit aucune énergie solaire directe

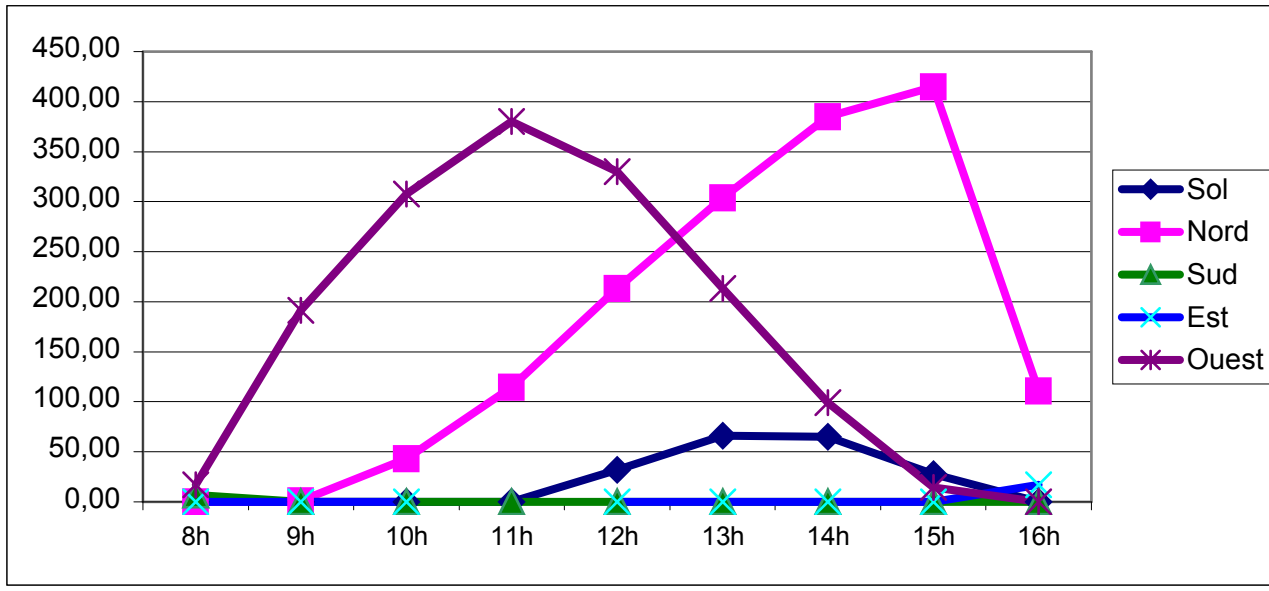


Fig :7.13Energies directe incidente en w/m² orientation NE/SO le 21décembre

Date	Heure	Tout	Sud	Est	Ouest	Nord	Sol
21--12	8h-12h	156.48	0	0	158.53	134.09	45.55
	12h-16h	152.67	137.74	156.67	0	48.23	48.23
21.06	8h-12h	235.76	16.7	0	235.76	171.84	137.66
	12h-16h	231.90	14.27	231.90	0	178.64	142.99

Tableau :7.2 Durées d'ensoleillement en minutes orientation NS

Date	Heure	Tout	Sud	Est	Ouest	Nord	Sol
21--12	8h-12h	141.14	6.57	0	146.14	69.2	1.82
	12h-16h	163.95	0	149.67	20.01	179.95	44.46
21.06	8h-12h	230.97	151.48	0	230.97	46.03	143.78
	12h-16h	212.70	0	173.49	53.44	212.70	164.13

Tableau :7.3 Durées d'ensoleillement en minutes orientation NE.SO

Date	Heure	Tout	Sud	Est	Ouest	Nord	Sol
21--12	8h-12h	142.77	0	0	74.84	149.77	0
	12h-16h	155.32	0	78.82	0	153.23	0
21.06	8h-12h	229.45	25.97	0	229.45	198.68	189.35
	12h-16h	224.23	21.53	224.23	0	20.343	183.57

Tableau :7.4 Durées d'ensoleillement en minutes orientation E.O

La visualisation des résultats et des images issues des simulations solaires, nous permettent d'identifier le parties de la cour qui seront au soleil plus que d'autres fig.(7.6)et fig.(7.7) .Une visualisation globale des résultats montrent que la cour orientée Nord-Sud, est la plus ensoleillée l'été, avec une durée totale de 467.66 minutes contre 453.68 et 443 .67 minutes pour respectivement l'orientation Est-Ouest et Nord-est / Sud-ouest

De l'examen des graphes du rayonnement solaire incident direct, il est à constater que le sol marque les valeurs les plus élevées en été et cela pour les trois orientations voir fig. (7.10 ; 7.12 et 7.14) fig. ces valeurs peuvent atteindre les 800 w /m² à 12h00 pour le cas d'une cour orientée Est/ouest l'été. Ce rayonnement direct n'excède pas les 100 w/m² pour le cas de la paroi Sud et 200W/m² pour la paroi Nord. Le deux parois Est et Ouest profitent équitablement d'une valeur maximale de 600w/m² à 12h00 et cela pour le cas d'une cour Orientée selon l'axe longitudinal Est-ouest fig. (7.9).Ces valeurs varient d'une orientation à une autre. Cependant et quelque soit l'orientation le sol marque le valeurs les plus élevées .Il est à remarquer que l'orientation la répartition de la tache solaire Nord-sud et Est-ouest à la différence que ceux qui se produisent d'une orientation Nord-est /Sud-ouest , se traduisent par une symétrie au niveau de la répartition de la tache solaire ainsi que les valeur du rayonnement incident .

Contrairement à l'été, l'hiver le sol ne reçoit pratiquement que peut de rayonnement solaire incident direct les valeurs les plus élevées sont marquées par la paroi Nord elle peut recevoir plus de 500w/m² à 12h00 pour le cas d'une cour orientée EO voir fig. (7.11)

En hiver la paroi Nord est la plus exposée, elle reçoit la plus grande quantité d'énergie. La paroi Ouest exposée le matin, sa température s'élève progressivement jusqu'à 9:00 puis diminue lentement en tendant vers la température de l'air. La température du sol ne reçoit aucun rayonnement solaire direct , mais reçoit de l'énergie diffuse qui élève sa température jusqu'au début de l'après-midi puis tend également vers la température de l'air. Enfin, la paroi Est n'étant exposée qu'en début d'après midi décroche de la température d'air à partir de midi et ne la rejoint qu'au coucher du soleil.

- De la lecture des durées d'ensoleillement l'hiver, il est à remarquer que la cour orientée selon l'axe longitudinale Nord/sud est la plus ensoleillée, avec une moyenne

de 313.05 minutes (3) contre 305.09 minute pour l'orientation NE-SO et enfin 298.09 minutes pour La cour orientée EO.

Dans le cas où la cour est orientée Nord-sud et Est-Ouest les parois latérales sont soumises à des conditions d'ensoleillement identiques (symétrie)au cour de la journée.

Par contre pour une orientation Nord-est / Sud-ouest la répartition de la tache solaire est dissymétrique, elle se limite au côté Ouest qui bénéficie des flux solaires tout au long de période diurne.

7.4.2 simulation des flux solaires absorbés et températures de surface

Les résultats obtenus par le calcul des durées d'ensoleillement, paraissent intéressants, ils ont permis la visualisation et la compréhension d'une part les ambiances solaires, notamment la répartition de la tache solaire sur les différentes parois et le sol. Les comparaisons effectuées appartiennent plus au qualitatif que quantitatif vue qu'ils donnent des résultats de l'état d'ensoleillement global de la cour . Pour avoir des résultas plus pointus et plus localisés, il est nécessaire de passer à la deuxième étape qui consiste à évaluer les températures de surface selon les différentes orientations , ainsi que les flux solaires nets absorbés. Par la prise en compte des coefficients thermiques, physiques et solaires des matériaux, ces simulations donnent des résultats plus détaillés, et prennent en compte l'ensemble des rayonnements qui interviennent dans la formulation du microclimat de la cour et vont permettre la comparaison entre les trois orientations respectivement : Nord-Sud, Nord-est/Sud-ouest et l'orientation suivant l'axe longitudinal Est-ouest . L'ensemble des simulations qui suivent concernent les deux saisons l'été et l'hiver.

---

(3) Une fonction propre au logiciel Solene permet de calculer la moyenne de l'énergie reçue en minutes par les surfaces des parois et le sol

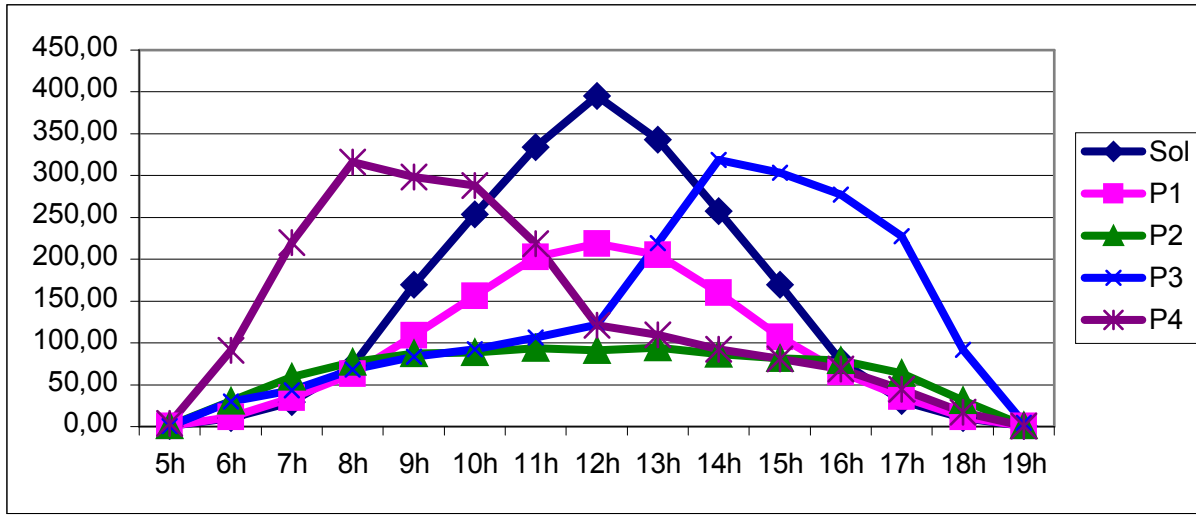


Fig : 7.14 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS le21 juin

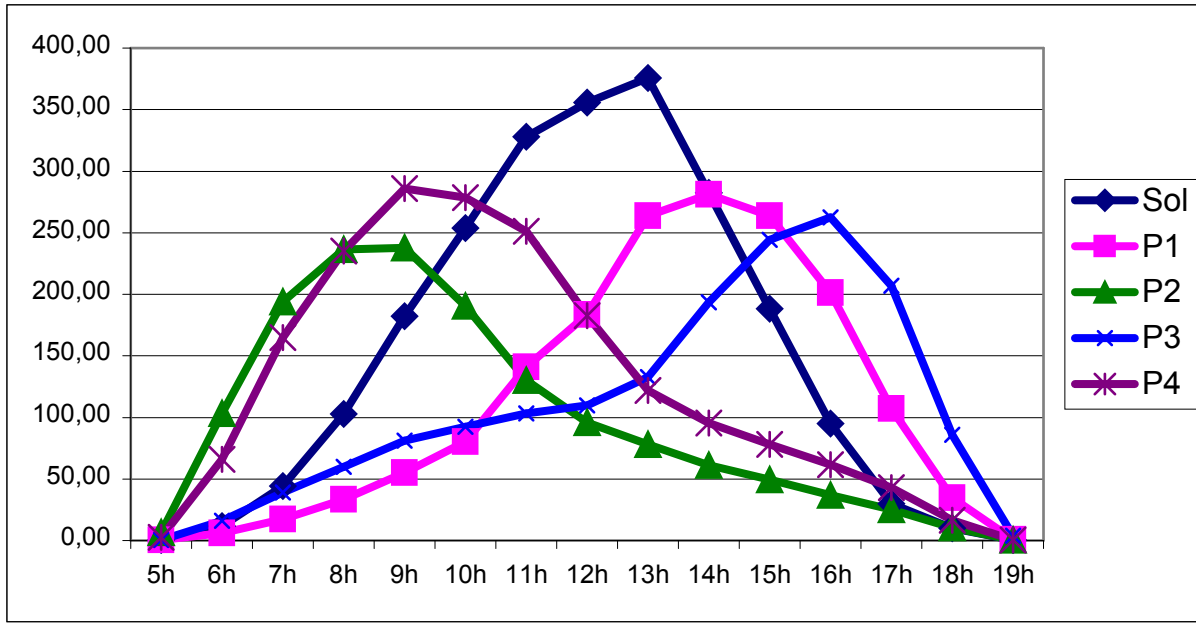


Fig : 7.15 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NE.SO le21 juin

Nb : P1- paroi Nord

P2- paroi Sud

P3- paroi Est

P4- paroi Ouest

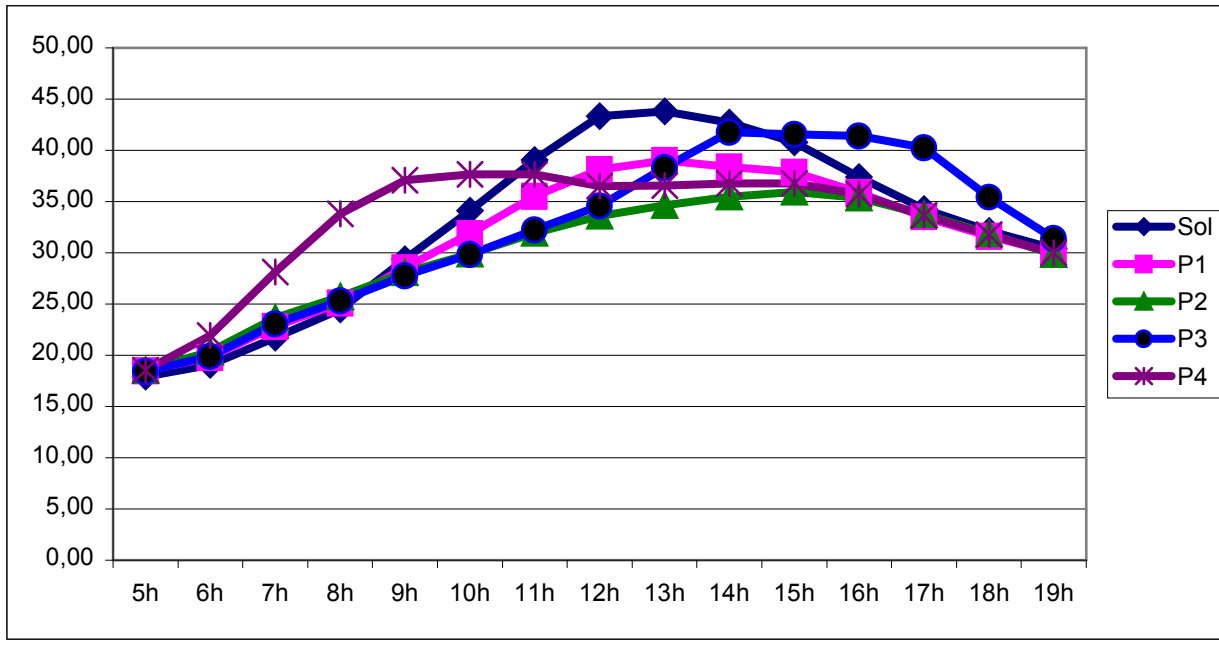


Fig : 7.16 Température de surface en (°C) orientation NS le21 juin

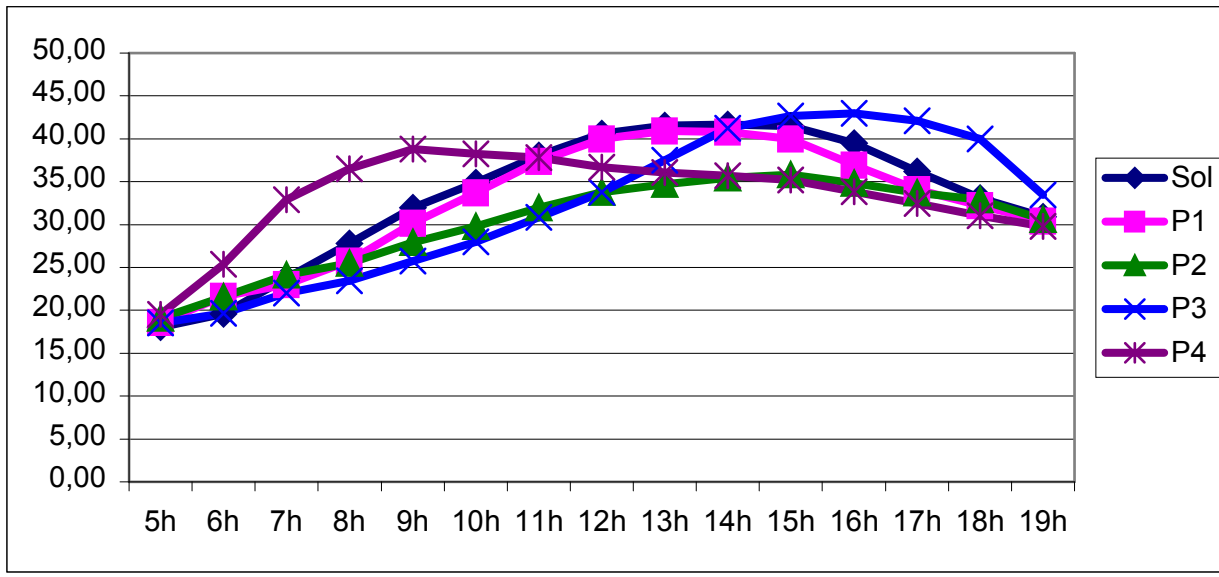


Fig : 7.17 Température de surface en (°C) orientation EO le21 juin

L'examen des résultas obtenus l'été, montre que la variation des flux solaires nets et des températures de surface au niveau du sol est en fonction de la variation de l'orientation est que le sol marque les valeurs les plus élevées en été pour les trois orientations. Le mur Ouest exposé le matin et voit sa température s'élever progressivement jusqu'à 9:00 puis diminuer lentement en tendant vers la température

de l'air. Contrairement la paroi Est prend les valeurs maximales à partir de 14h00 et diminue jusqu'à tendre vers la température de l'air.

De la lecture des résultats de simulation (voir fig. 7.14 ; 7.15 et 7.16), il s'est avéré que les températures de surface de la cour orientée suivant l'axe Nord-Sud sont les plus élevées avec une valeur maximale moyenne (**4**) de 42.65 °C contre 42,16 °C pour l'orientation intermédiaire est 41.33°C pour l'orientation Est / ouest, la différences est de l'ordre 1.32 °C entre la meilleur orientation est entre la plus défavorisée l'été tandis que la différence entre l'orientation Est-Ouest est l'orientation Nord-est_Sud-ouest est de l'ordre de 1.17°C

Pour ce qui est des flux solaires nets l'été, la quantité d'énergie reçue par le sol augmente à partir de 09h00 jusqu'a atteindre un maximum à 12h00 puis commence à diminuer jusqu'au cocher du soleil ou elle tend vers des valeurs presque nulles. Par comparaison des résultats des simulations il est à remarquer que les deux cours orientées Nord-est / Sud-ouest et Nord/sud reçoivent les valeurs nettes absorbées les plus élevées entre 10h00 et 14h00, ces valeurs peuvent atteindre les 370 w/m² à 12h00 voir fig. (7.14)et fig.(7.15).La répartition des flux solaires nets suit la même logique de répartition que les températures de surface.

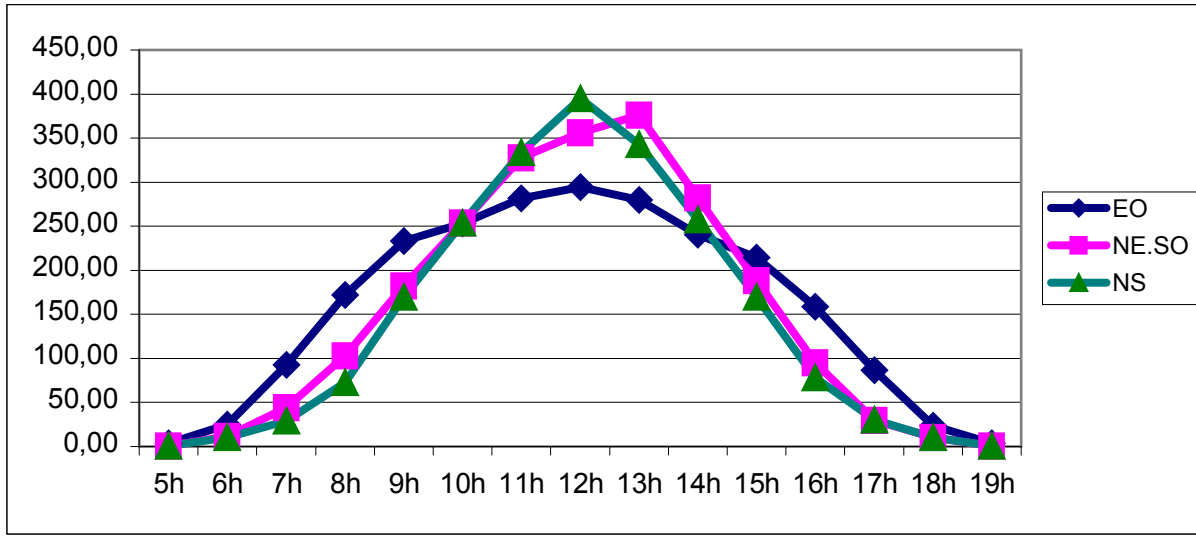


Fig : 7.18 flux solaire net absorbés par le sol en w /m² pour les trois orientations le 21 juin

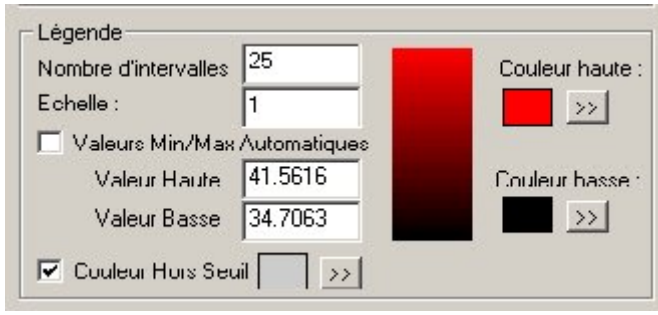


Fig : 7.19 Températures de surface le 21 juin

Source :Solene (5)

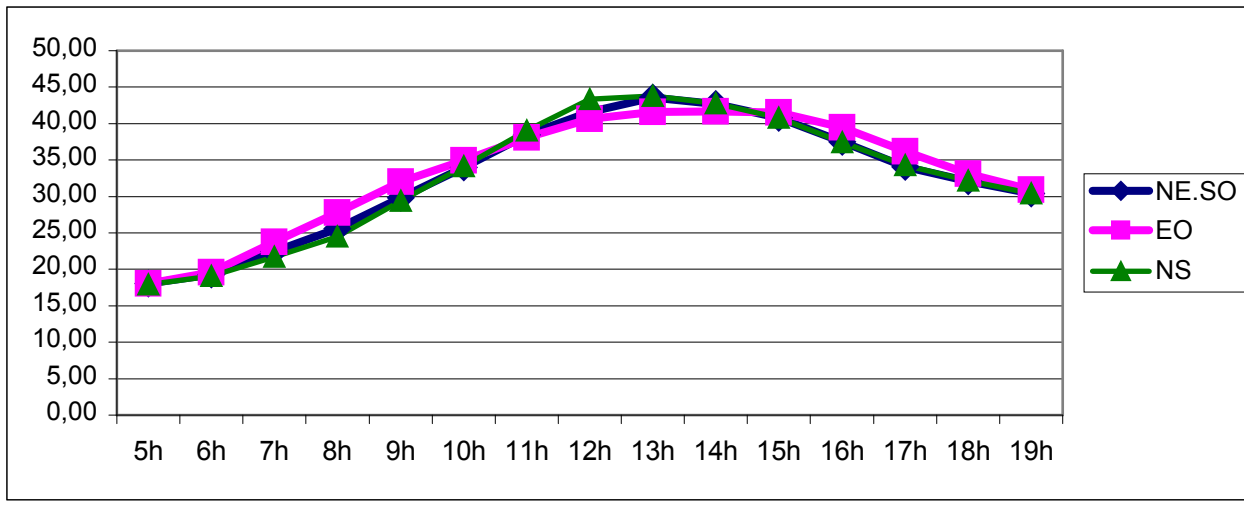


Fig :7.20 Température de surface en (°C) pour les trois orientations le 21 juin

La calcul de la température radiante, nous permet de savoir le microclimat régnant pour les trois orientations confirme l'intérêt de l'orientation Est /ouest avec une maximale à 14h00 de 38.63 °C contre 39.0.2°C pour l'orientation Nord-est / Sud-ouest est 39.73°C pour l'orientation Nord / sud.

En hiver la paroi Nord (6) est la plus exposée, elle reçoit la plus grande quantité d'énergie. La paroi Ouest exposée le matin et voit sa température s'élever progressivement jusqu'à 9:00 puis diminue lentement en tendant vers la température de l'air. La température du sol ne reçoit aucun rayonnement solaire direct , mais reçoit de

---

(5) Une fonction propre au logiciel Solene permet de calculer la moyenne de l'énergie reçue par les surfaces des parois

(6) Pour le cas de la cour les orientations sont inversées, l'orientation Nord, est celle qui fait face au sud.

l'énergie diffuse qui élève sa température jusqu'au début de l'après-midi puis tend également vers la température de l'air. Enfin, la paroi Est n'étant exposée qu'en début d'après midi décroche de la température d'air à partir de 12h00 et ne la rejoint qu'au coucher du soleil.

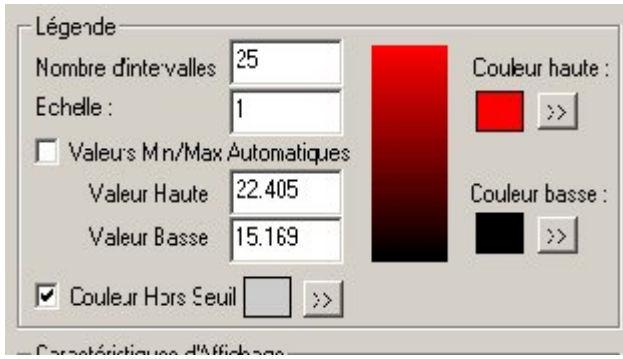


Fig : 7.21 Températures de surface le 21 décembre

Source :Solene

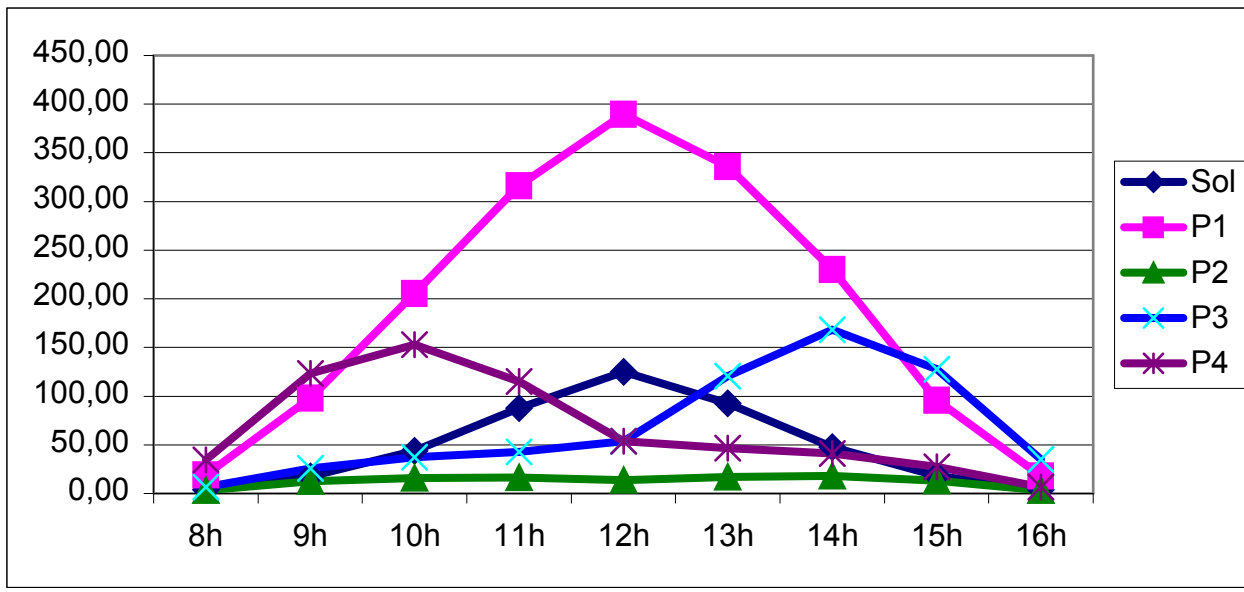


Fig : 7.22 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS le21 décembre

Nb : P1- paroi Nord

P2- paroi Sud

P3- paroi Est

P4- paroi Ouest

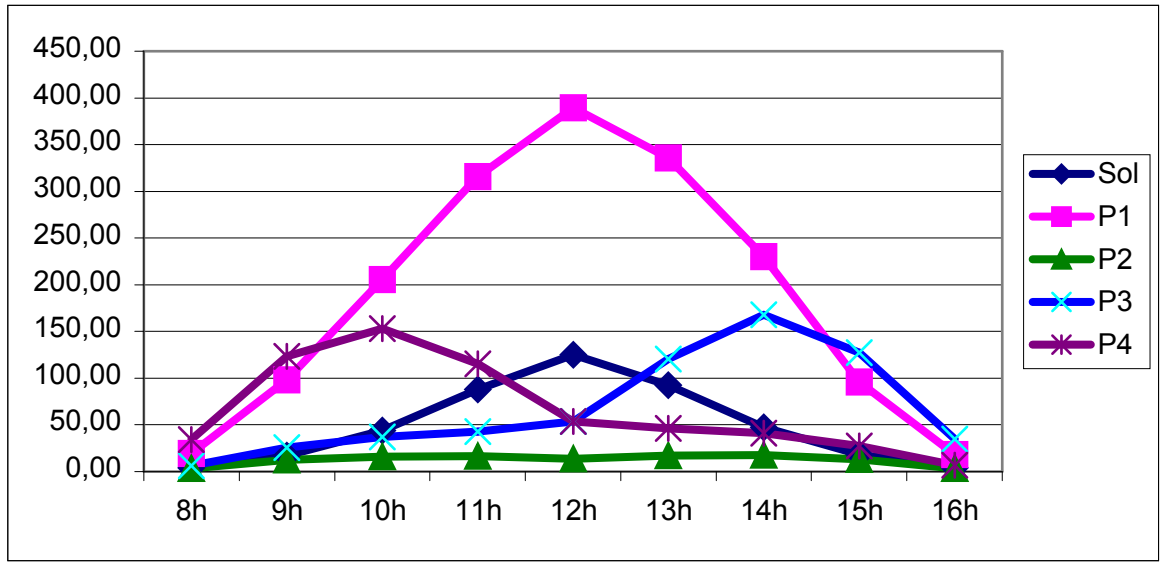


Fig :7.23 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS le21 décembre

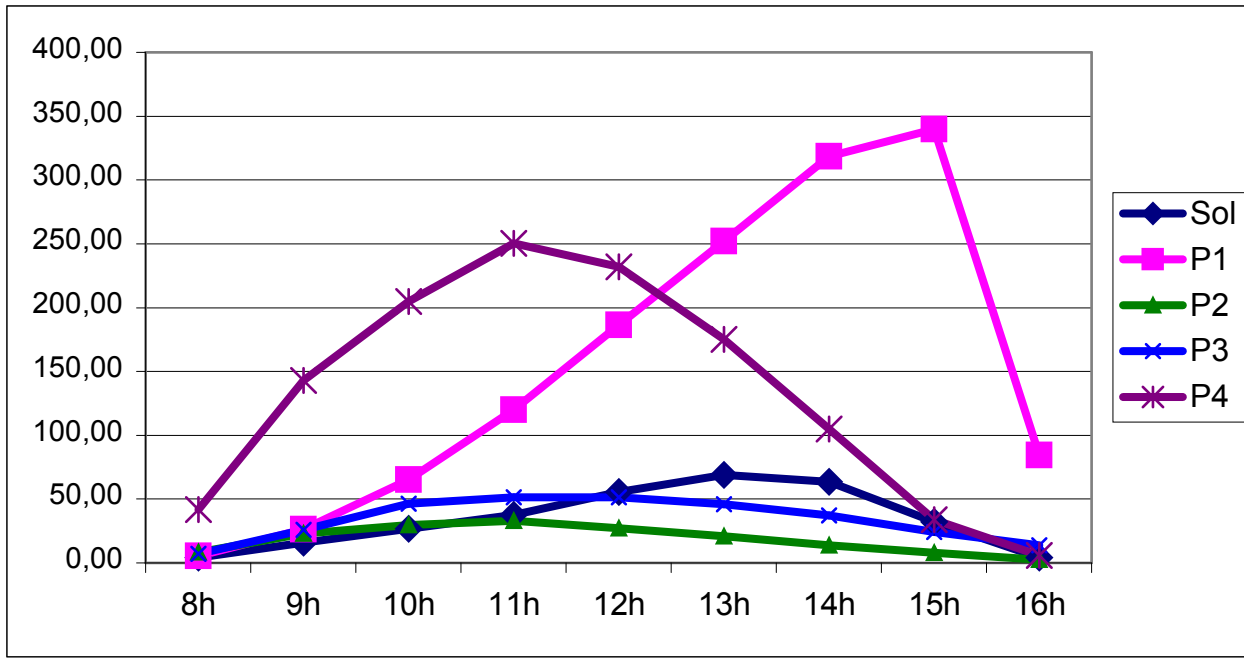


Fig : 7.24 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NE.SO le21 décembre

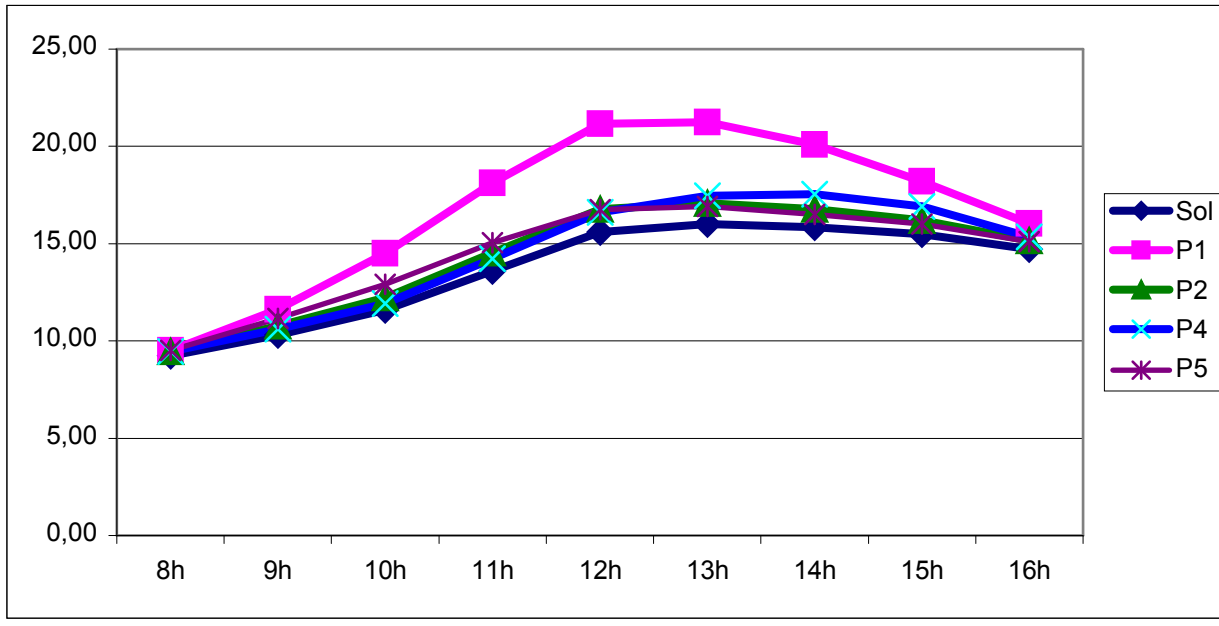


Fig :7.25 Température de surface orientation EO 21 décembre

Nb : P1- paroi Nord

P2- paroi Sud

P3- paroi Est

P4- paroi Ouest

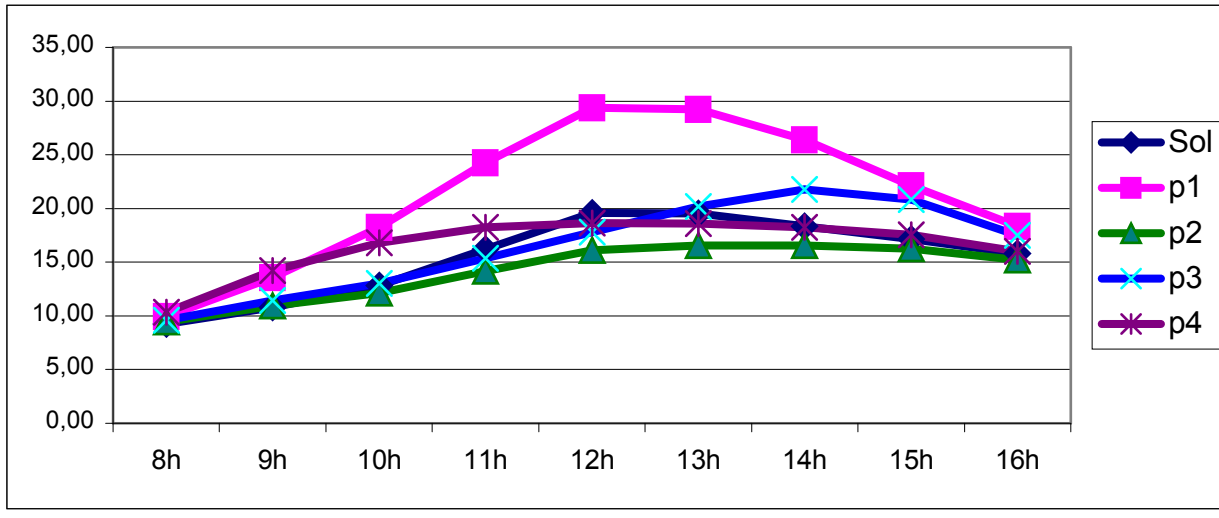


Fig :7.26 Température de surface orientation NS 21 décembre

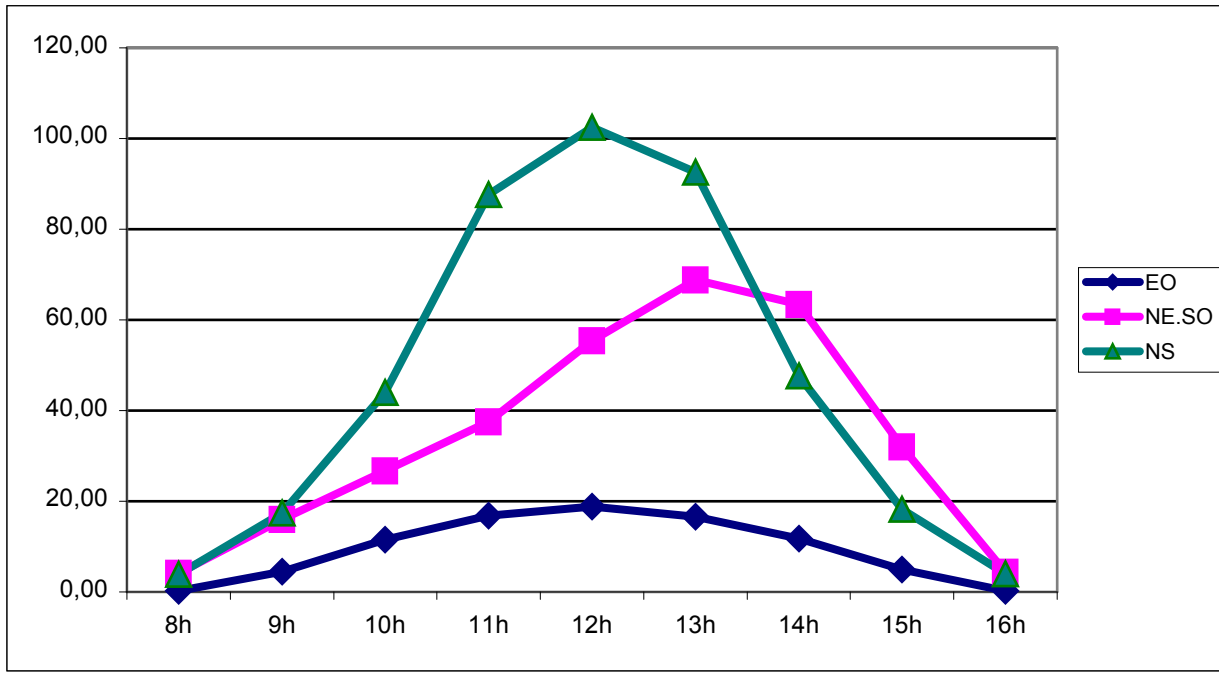


Fig:7.27-flux solaires nets absorbés en w /m² pour les trois orientations le 21decembre

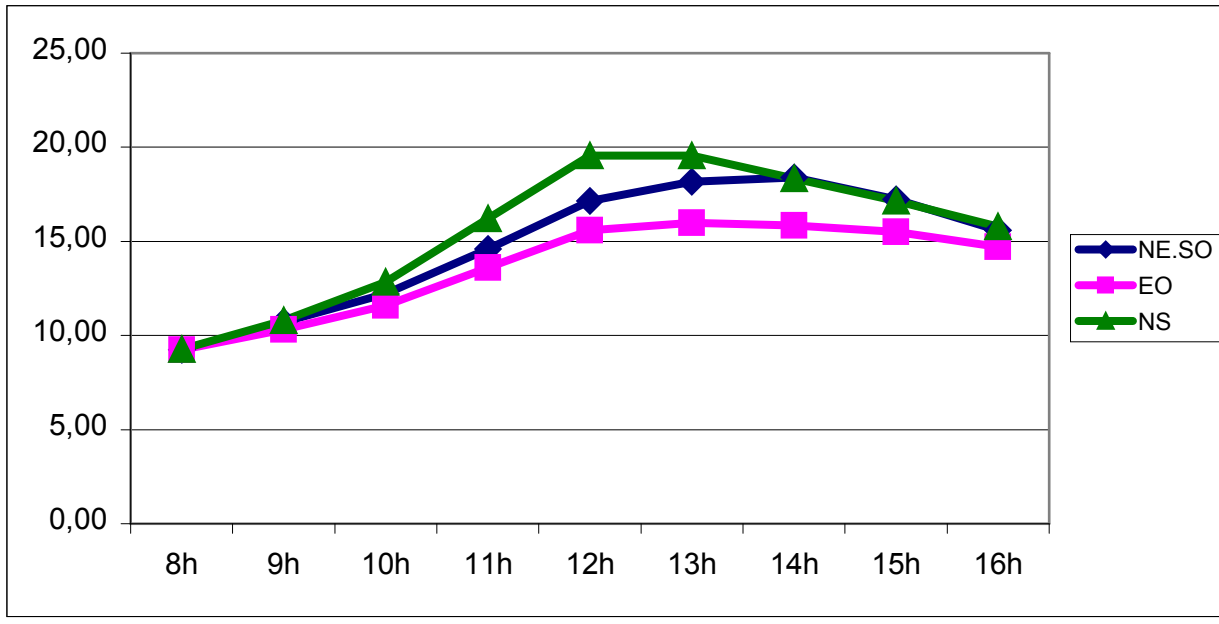


Fig : 7.28température de surface en (°C) pour les trois orientations le 21 décembre

comparer les profils thermiques correspondant aux orientations étudiées. Pour permettre la comparaison, les figures ci -dessus présentent les graphes obtenus pour chaque orientation. La confrontation des résultats fait nettement apparaître que les températures de surface et le flux solaires nets absorbés pour le cas de la cour orientée Nord/sud sont plus importantes que lorsque la cour est orientée Est/ouest et Nord-est / Sud-ouest. Généralement, les profils suivent les mêmes allures avec des écarts de température de surface qui varient entre 0,50°C au début de la matinée à un écart maximale de 3,56 °C entre l'orientation Nord /sud et l'orientation Est /ouest qui marque les valeurs les moins élevées l'hiver fig. (7.28). Cet écart peut être expliqué par le fait que dans le cas de la cour orientée Nord / Sud, une grande partie du sol est exposée au soleil entre 11h00 et 14h00.

En conclusion un premier constat, est que les valeurs des températures de surface et des flux solaires nets, généralement suivent les mêmes allures et elles sont très proches l'été pour les trois orientations. Par contre en hiver l'orientation Est-ouest est considérée la plus défavorable. Cette réduction de l'énergie absorbée par la cour orientée Est-ouest l'hiver pose un problème entre l'exigence de créer un microclimat favorable pour les deux saisons.

En partant du principe que l'orientation selon l'axe longitudinal est l'orientation optimal dans le milieu scientifique. Dans la conception d'une cour, il s'agit à travers ces dernières simulations, de montrer dans quelle mesure une orientation Est/ouest a une influence sur la répartition des températures de surface et flux solaires incidents. D'après les valeurs enregistrées, il en ressort que la disposition de la cour rectangulaire 1/3 selon un axe longitudinal Est/ouest est la meilleur en été malgré que la différence reste faible par rapport à l'orientation nord-est/ sud-ouest .Par contre l'orientation Nord-sud en été, est la plus défavorable compte tenu des températures de surface et flux solaires nets absorbés marquant les valeurs les plus élevées . Par contre que si la cour orientée Est/ouest marque relativement les températures les moins élevées en été, au contraire en hiver elle marque les valeurs les plus basses par rapport aux deux autres orientations. L'analyse effectuée selon les deux saisons et par comparaison des résultats obtenus il est admet que position intermédiaire la cour orientée Nord-est/Sud-ouest permet de satisfaire les deux saisons l'hiver et l'été.

7.5 -Effet de la hauteur

L'effet de la hauteur a été approché pour la configuration 2/3, servant de base pour la simulation, selon trois profils différents qui sont respectivement : h/4, h/3 et h/2 .Ces haleurs correspondent à une cour respectivement : de deux niveaux , trois niveaux et cinq niveaux. Ces hauteurs sont les plus fréquentes dans les cours des édifices publics, ainsi que ces proportions représentent les hauteurs des cours abordées dans l'analyse typo-morphologique, pour mettre en évidence l'effet du changement de la hauteur, trois orientations ont été choisies l'Est / Ouest, Nord /Sud et le Nord-est /Sud-ouest

Cour 2/3	L(m)	l m)	h/2 (m)	h/3 (m)	h/4 (m)
S=1200m²	42,00	28.00	7.00	9.40	14.00

Tableau 7.5 : dimensions et hauteurs des cours simulées

Le calcul des flux solaires nets absorbés et les températures de surface pour les trois orientations , montre l'intérêt de la configuration intermédiaire h /3 et cela pour les deux saisons l'hiver et l'été. Malgré l'effet de l'ombrage que peut provoquer le choix du profil h/2 par l'augmentation de la hauteur , vu qu'il présente les températures les moins élevées durant l'été pour le trois orientations. Cependant il présente l'inconvénient d'une baisse des températures de surface et flux solaires absorbées l'hiver.

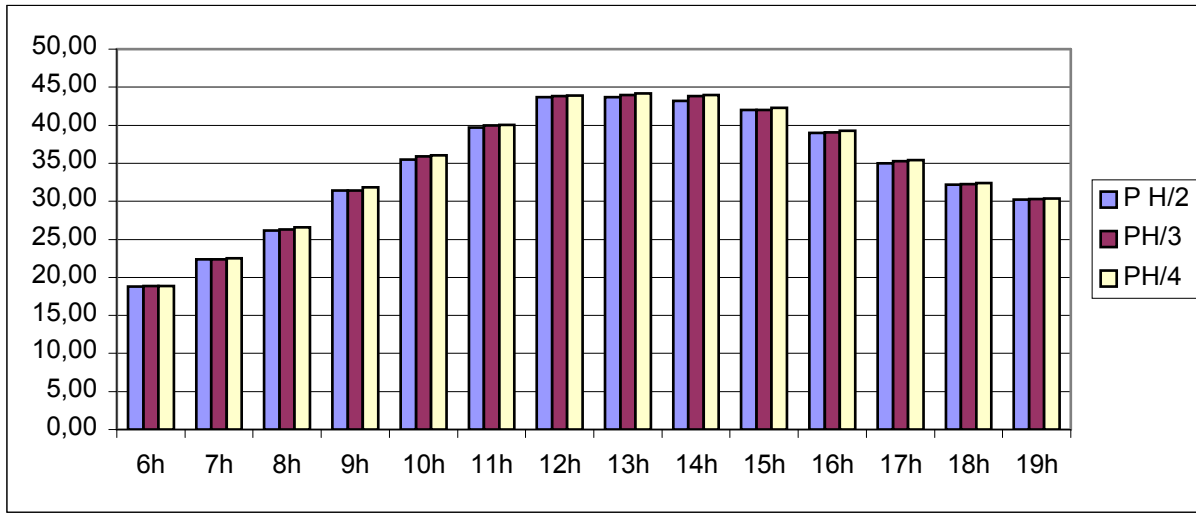


Fig :7.29 température de surface en (°C) le 21 juin orientation EO

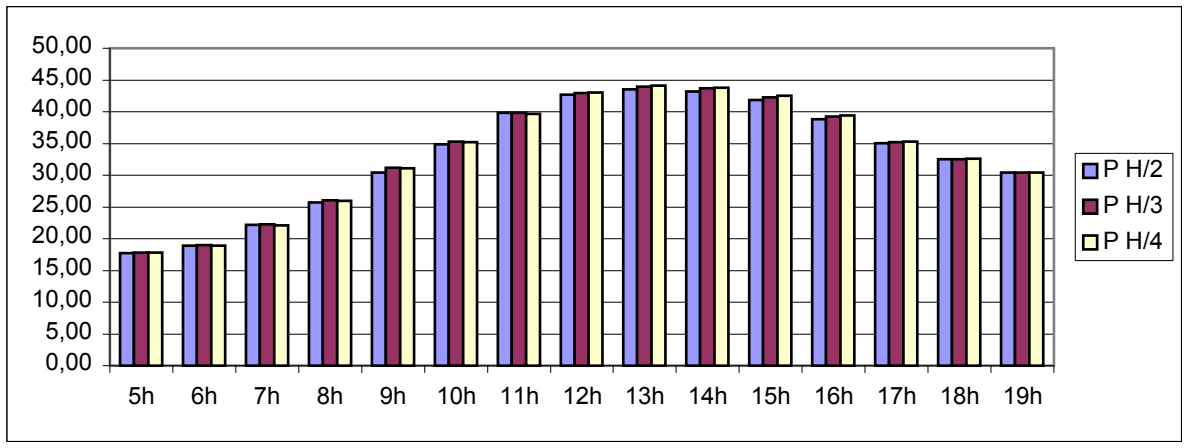


Fig :7.30 température de surface du sol en (°C) le 21 juin orientation NE.SO

La lecture des températures de surface montre que l'écart entre les différentes configurations ne dépasse pas 1° C l'été et 0.60°C l'hiver, la maximale etant enregistrée à 14h00 pour les trois profils h/2 42.25°C l'été contre 43.66°C pour le profil h/3 et 44.20°C pour le profil h/4 et cela suivant l'orientation EO.

Pour l'hiver la maximale est enregistrée pour le profil h/2 avec 19.02 °C puis le profil h/3 avec 18.85°C et enfin le profil h/4 avec une température de 18.45°C.Cette différence est remarquable pour le trois orientations. Il est à conclure que l'effet de la hauteur sur la répartition de températures de surface est plus prononcé l'été que l'hiver, la différence entre le trois situations demeure faible malgré l'intérêt que présente le profil h/3 vu qu'il permet de satisfaire les deux saisons.

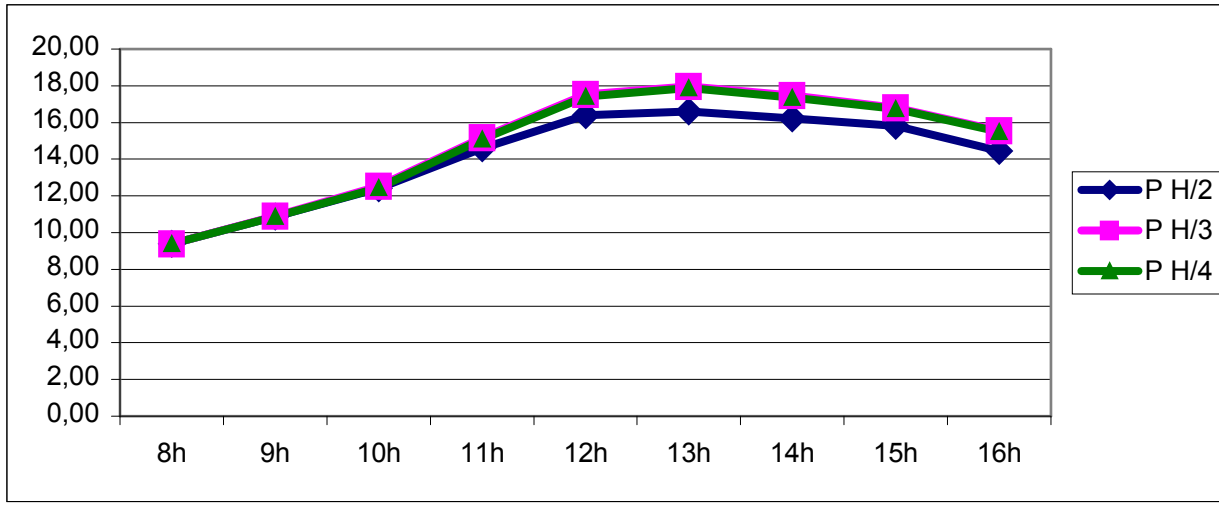


Fig :7.31 température de surface du sol en (°C) le 21juin orientation EO

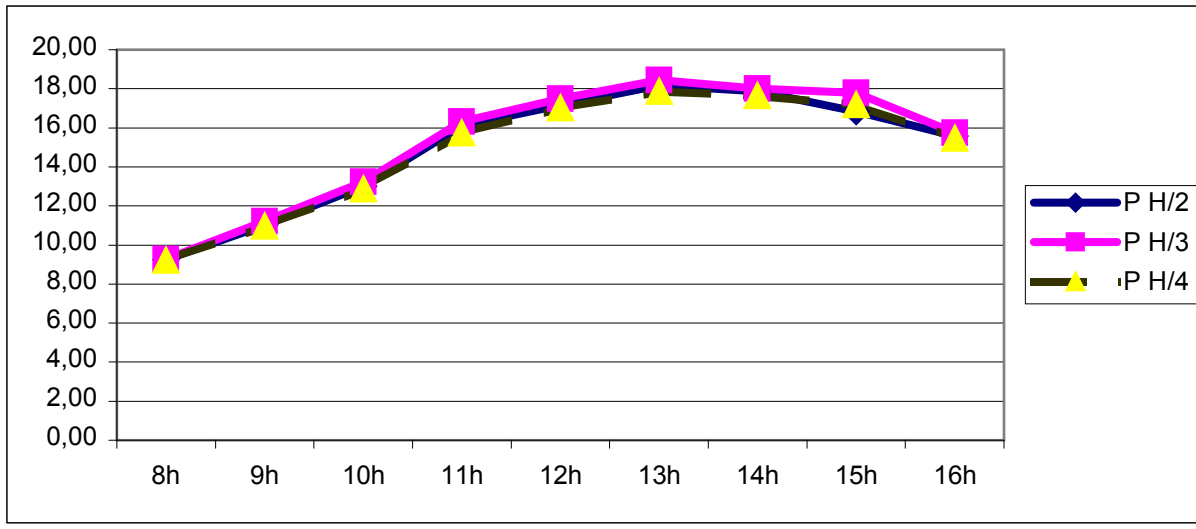


Fig :7.32 température de surface du sol en (°C) le 21 décembre orientation NE.SO

Il est à conclure que l'effet de la hauteur sur la répartition de températures de surface , pour une cour prenant des hauteurs de deux à cinq niveaux est plus prononcé l'été que l'hiver, la différence entre le trois situations demeure faible malgré l'intérêt que présente le profil h/3, vu qu'il permet de satisfaire les deux saisons.

7.6- Effet de la forme géométrique

Les proportions considérées entre la longueur et la largeur sont :1/3 2/3 et 3 /3 (forme rectangulaire allongée, forme rectangulaire et la forme carré) et automatiquement les formes ; 3/1 3/2 par effet de changement de l'orientation . Trois orientations sont prises en considération, L'orientation Nord/sud, Est /ouest et Nord-est / Sud-ouest

La surface choisie est la surface moyenne 1200m² donc ont aura trois configurations principales :

- Forme rectangulaire allongée : 20 x 60
- forme rectangulaire 28 x42
- formes carré de : 35 x 35

-Pour cette étape la hauteur est maintenue fixe pour les trois configurations(R+3) soit 13.50 m

- La finalité de l'étude de ces configurations courantes à pour but d'être facile d'accès et de compréhension et de dégager les solutions optimales en fonction des configurations présentées.

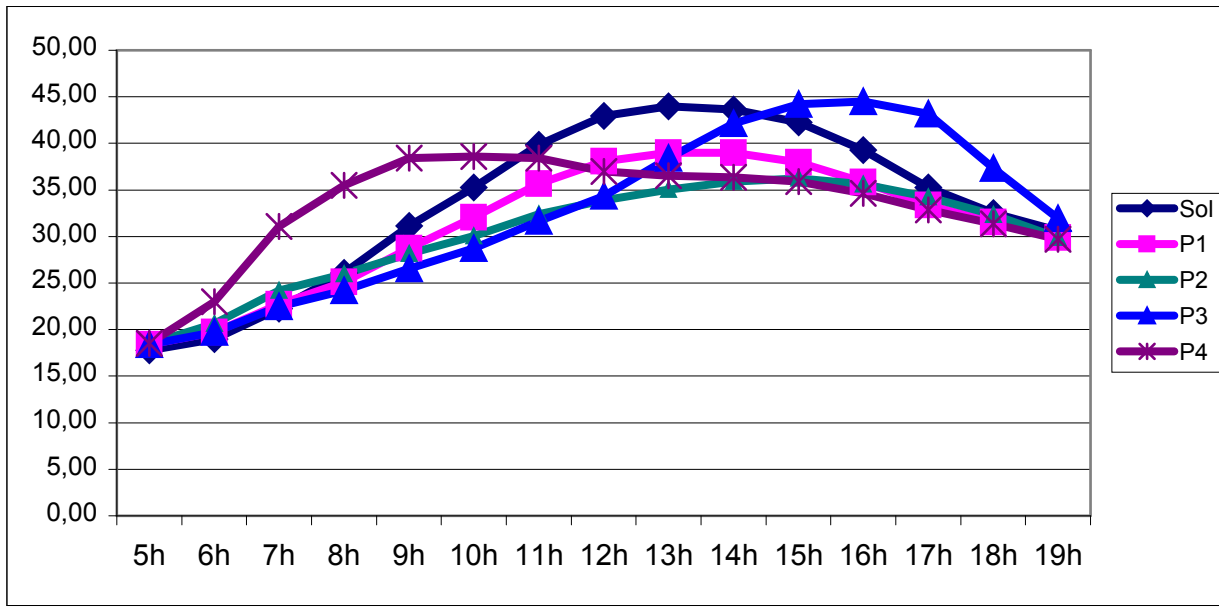


Fig : 7.33 Température de surface cour carrée 3/3 en (°C)EO et NS pour le 21 juin

Nb : P1- paroi Nord

P2- paroi Sud

P3- paroi Est

P4- paroi Ouest

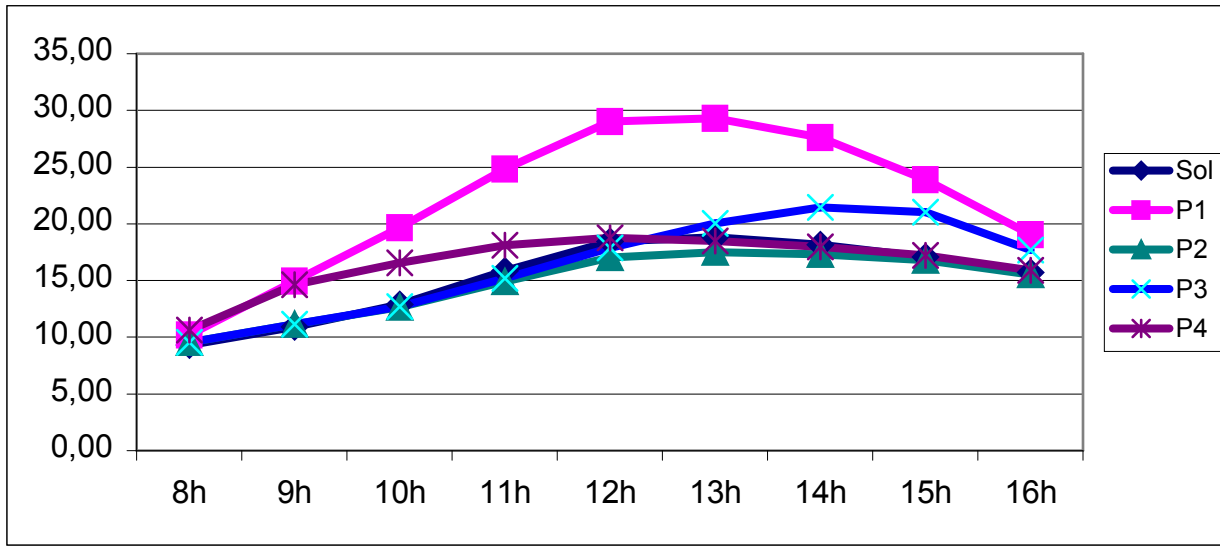


Fig : 7.34 Température de surface en (°C)cour carrée EO et NS le 21 décembre

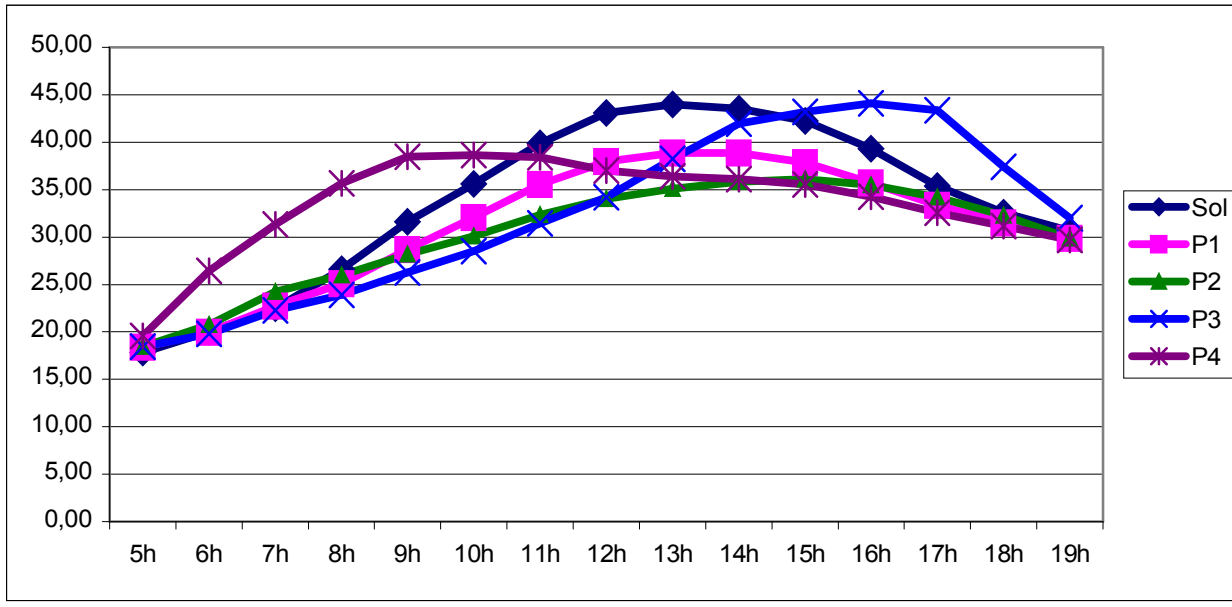


Fig : 7.35 Température de surface en (°C) orientation cour2/3 EO le 21 juin

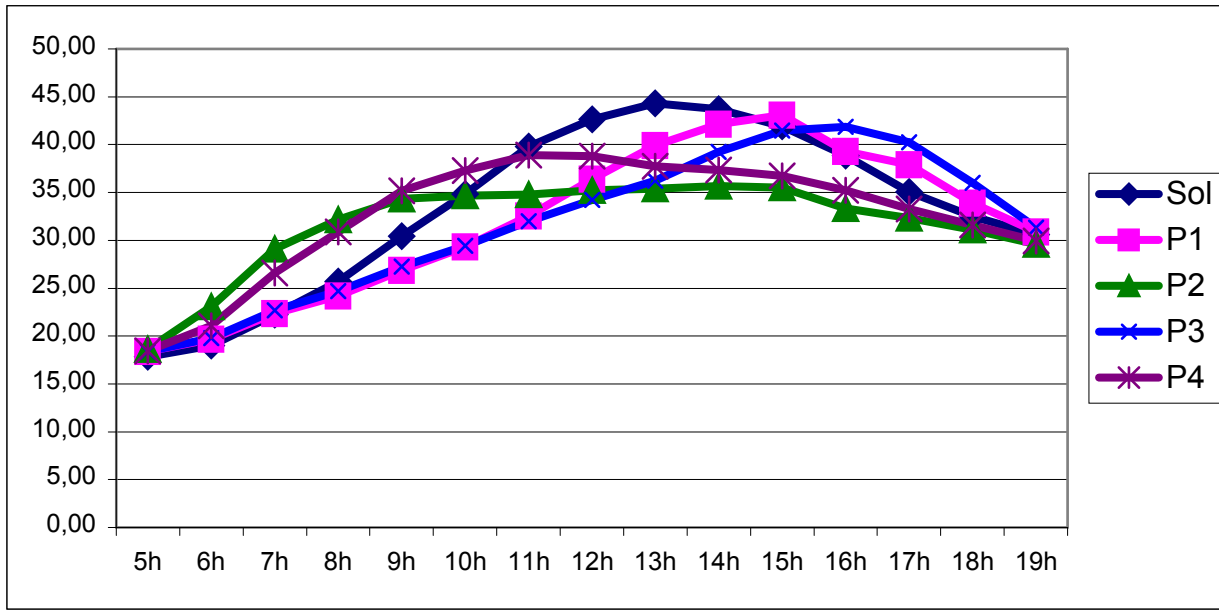


Fig : 7.36 Température de surface en (°C) orientation NE.SO le 21 juin

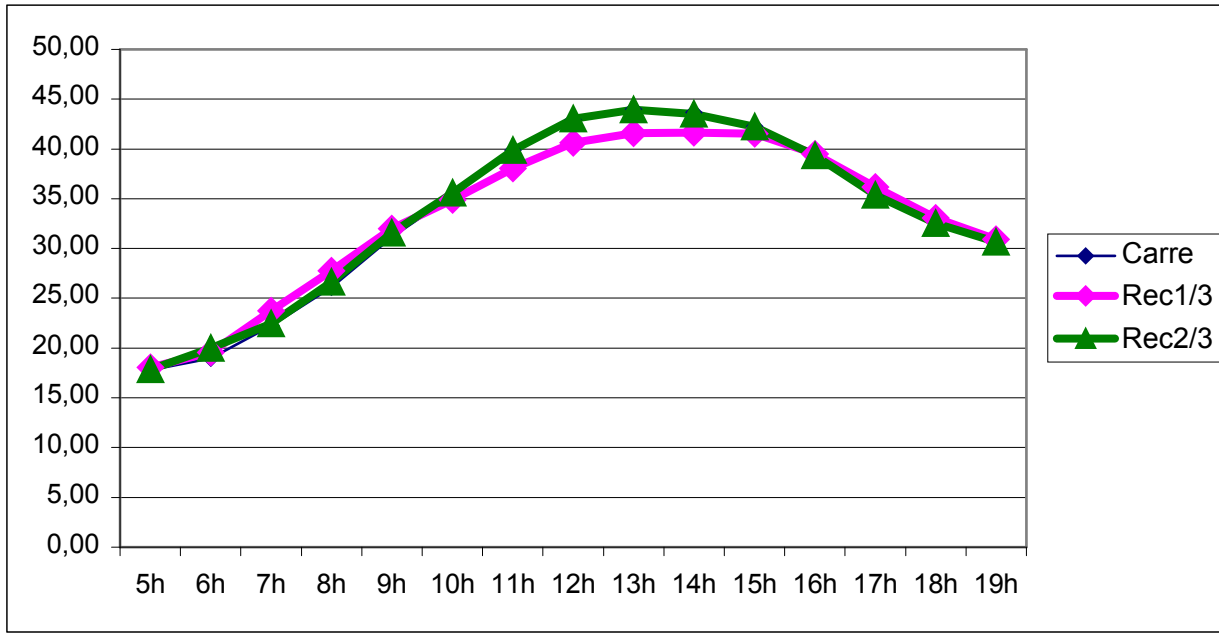


Fig :7.37 températures de surface en (°C) pour les trois formes le21 juin Orientation EO

Nb : les allures des courbes Carre et Rec1/3 sont confondues

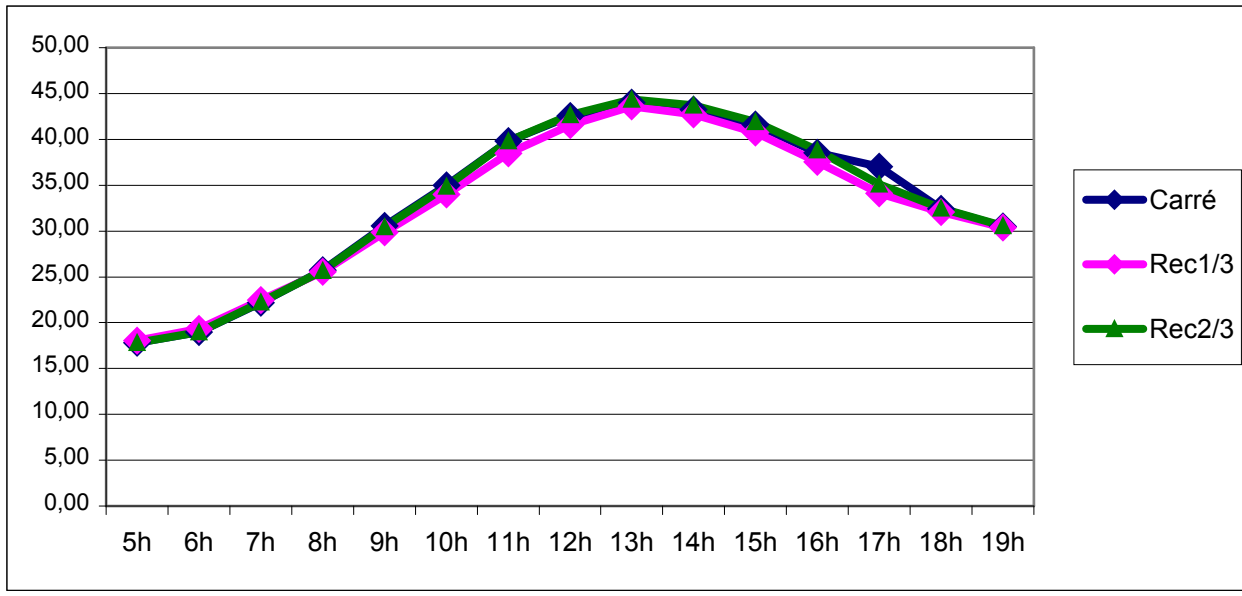


Fig :7.38 Températures de surface du sol en (°C) orientation NE.SO le 21 juin

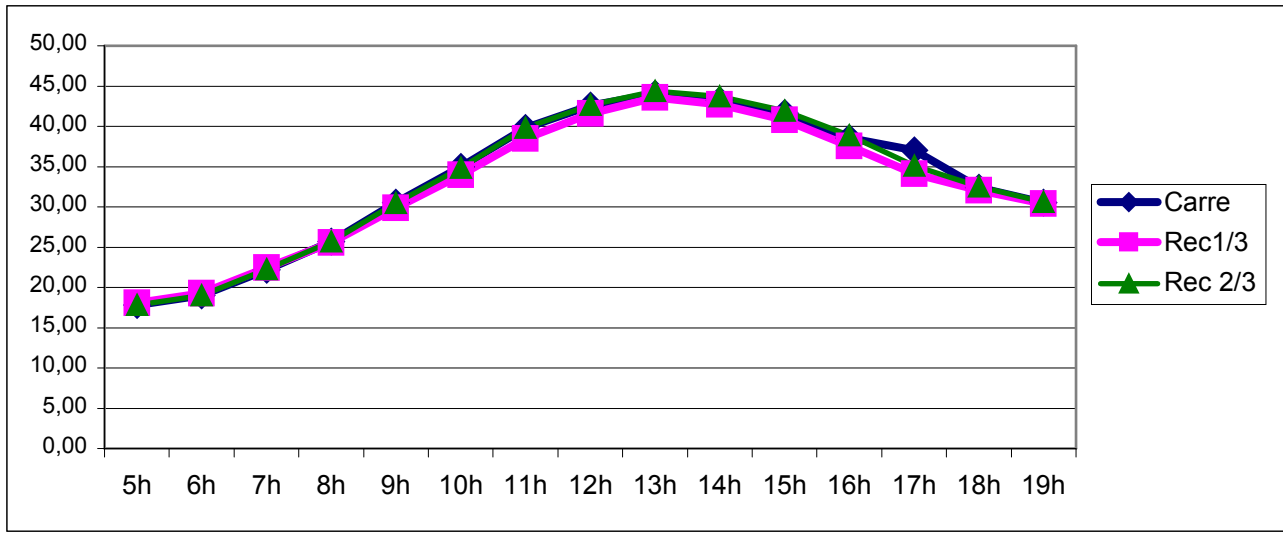
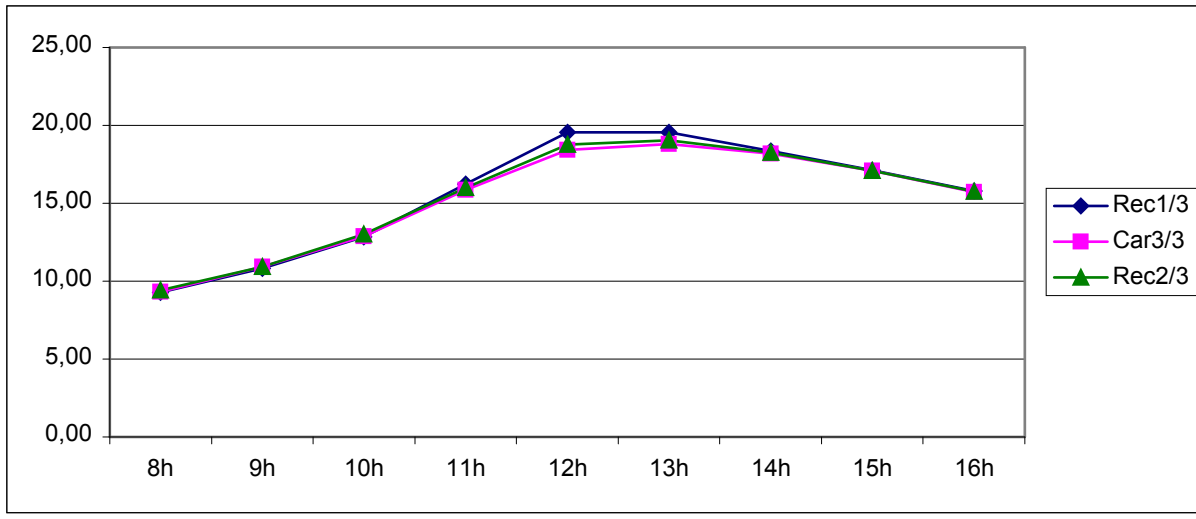


Fig :7.39 Flux solaire net en W/m² orientation NE.SO le 21juin

Les résultats de simulations l'été montrent l'intérêt de la forme rectangulaire 1/3 et la forme carrée pour les trois orientations.



4

Fig :7.40 Températures de surface du sol en (°C) orientation NS le21 décembre

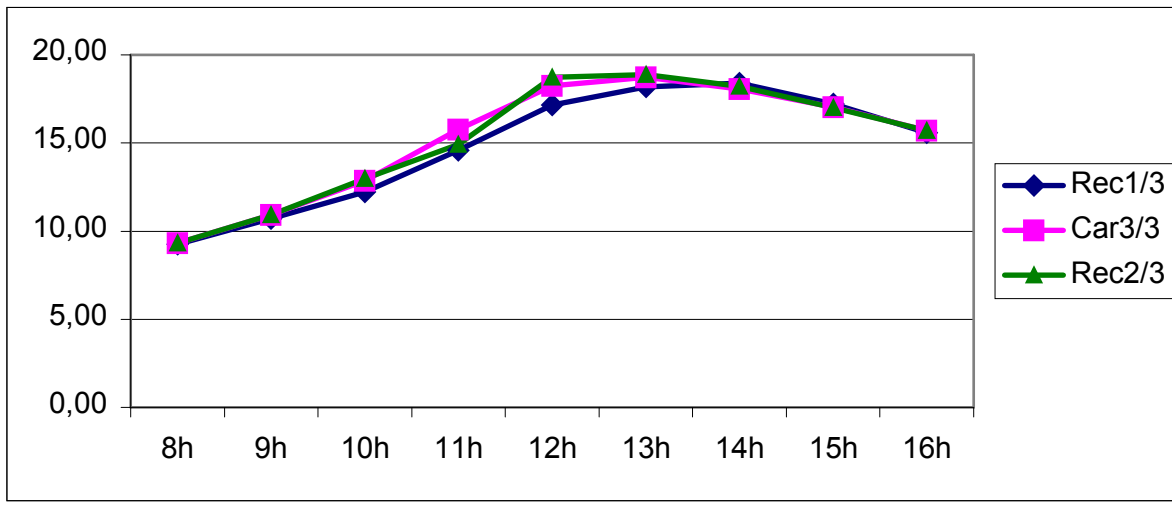


Fig :7.41 Températures de surface du sol en (°C) orientation NE.SO le21 décembre

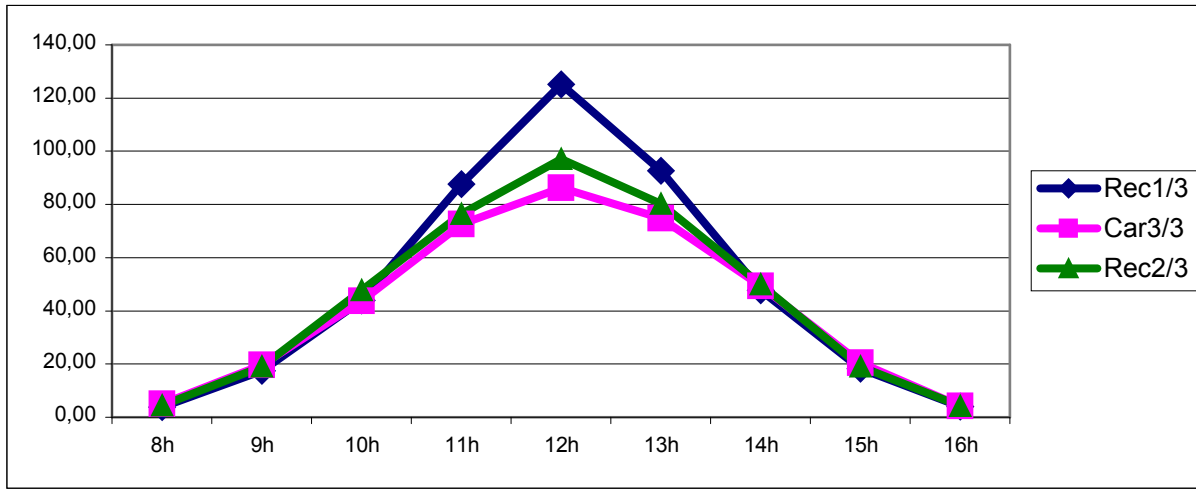


Fig :7.42 Flux solaire net en W/m² orientation N.S le 21décembre

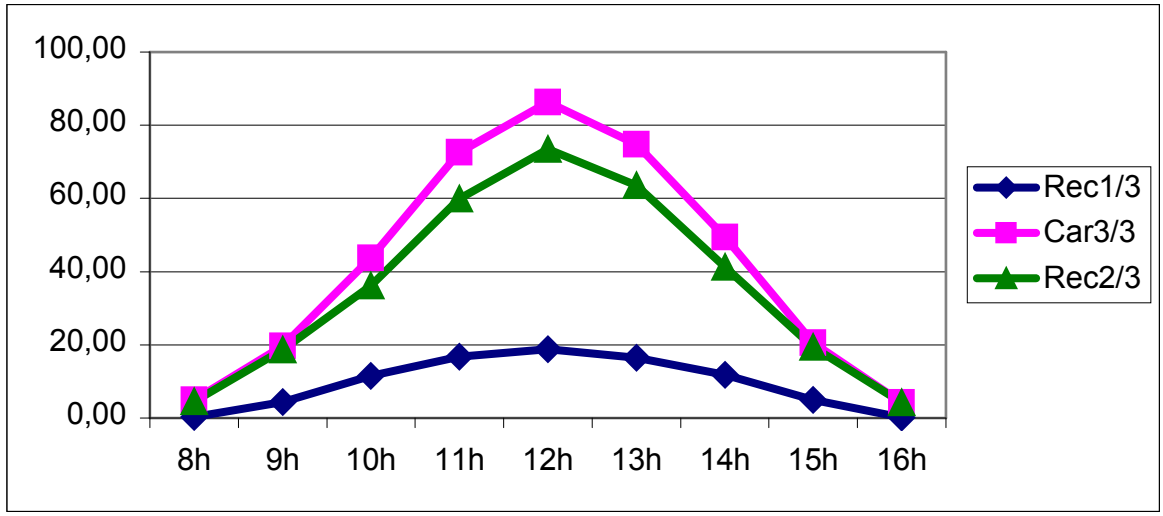
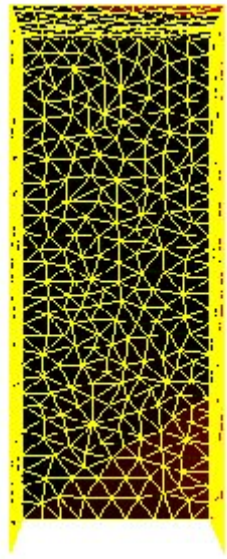
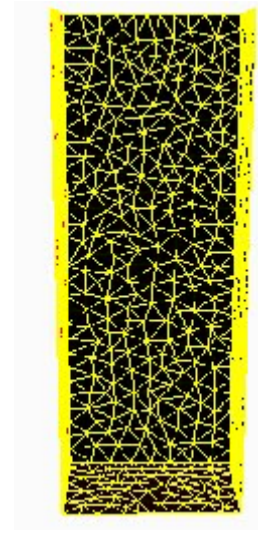


Fig :7.43 flux solaires nets en(W/m²) orientation EO le 21décembre

L'examen des résultats des températures de surface et des flux solaires nets absorbés l'hiver , Montrent l'intérêt de la forme carrée (3/3) dans l'ensemble , malgré que la cour de proportion 1/3pour le cas de l'orientation Nord/sud marque les valeurs les plus hautes pour les températures de surface et les flux solaires nets. cependant pour les autres cas, la forme carré marque les valeurs les plus élevées avec un grand écart , cet écart est plus remarquable pour le cas de l'orientation Est/ouest voir fig.(7.43).En ce qui concerne la forme rectangulaire de proportion 2/3, les résultats montrent qu'elle prend la position intermédiaire pour les trois orientations.

7.5.1Effet de l'ouverture de la cour





Cour1/3ouverte coté Sud **Cour 1/3 ouverte coté Nord**

Fig :7.44 :Cour ouverte orientation Nord/sud

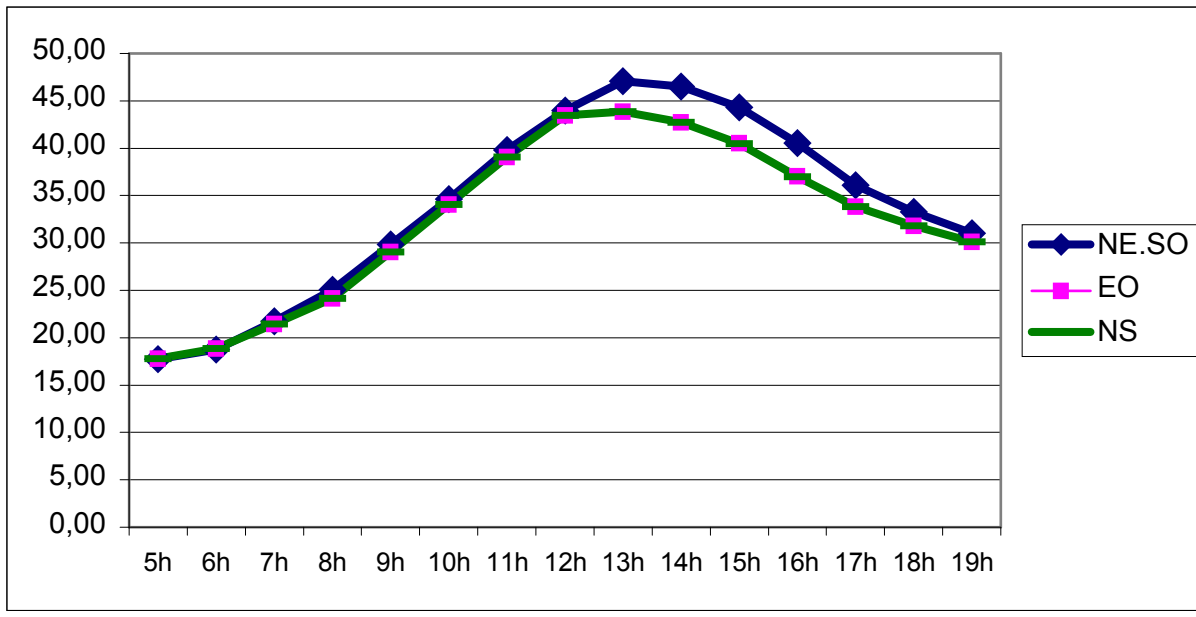


Fig :7.45 température de surface cour ouverte cote sud

Nb : le allures des courbes NS et EO sont confondues

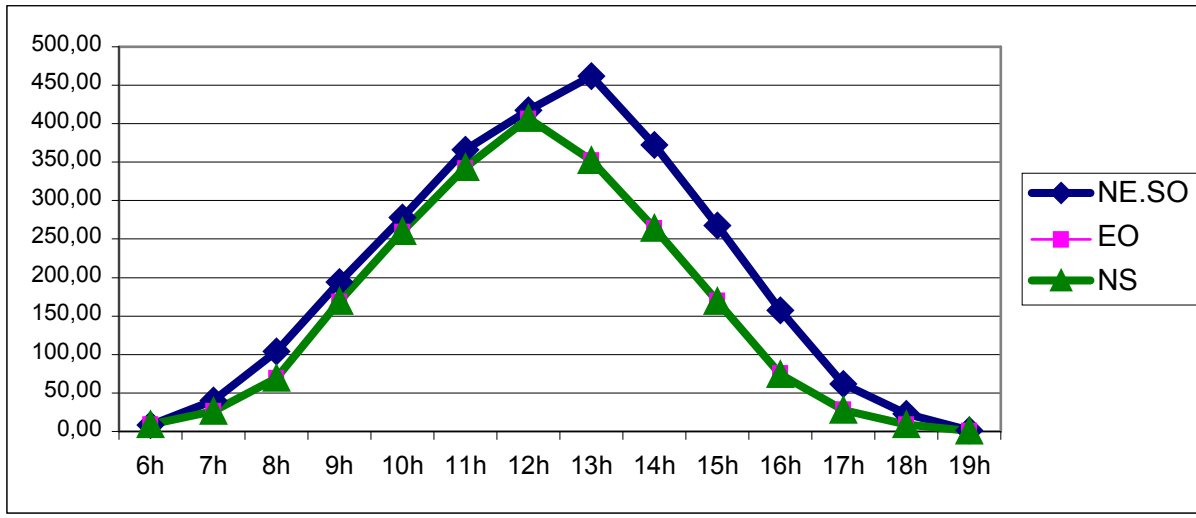


Fig : 7.46 Flux solaires nets (W/m²)cour ouverte coté sud le 21juin

Nb : Les allures des courbes EO et NS sont confondues

Les résultats des simulations pour le cas de la cour ouverte sur le coté sud, montrent que la cour orientée Nord-est /Sud-ouest marque les valeurs les plus élevées en ce qui concerne les flux solaires nets absorbés et les températures de surface. Les températures enregistrées à 12h00 dépassent les 45 °C.Pour les deux autres orientations, l'allure des courbes montre la superposition des courbes des températures de surface et des flux solaires nets absorbés voir fig.(7.45)et fig. (7.46).

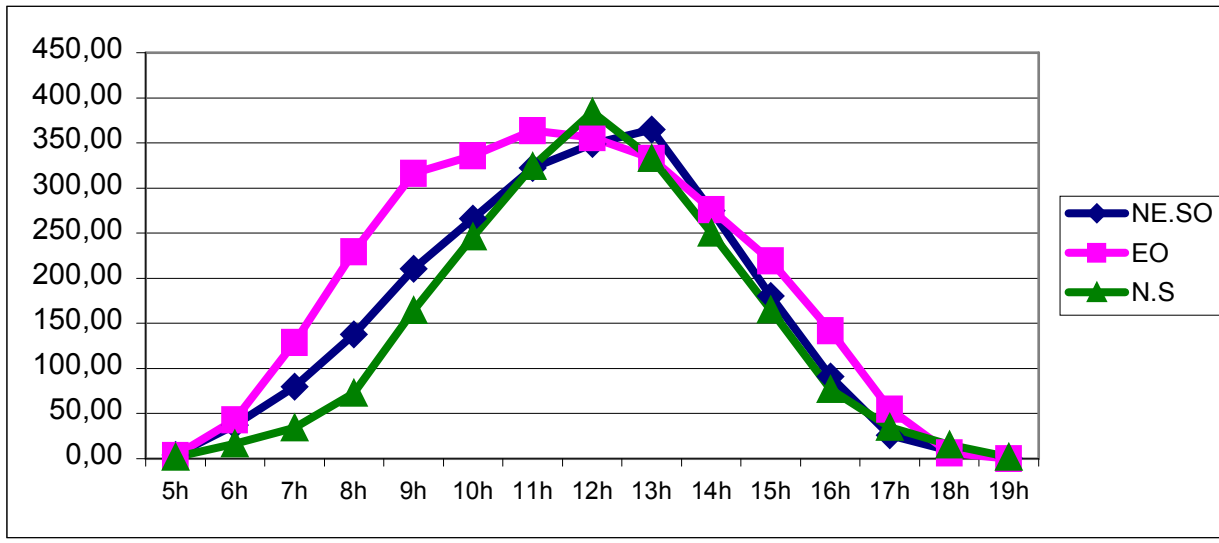


Fig : 7.47 Flux solaire net en (W/m²) cour ouverte coté nord le 21juin

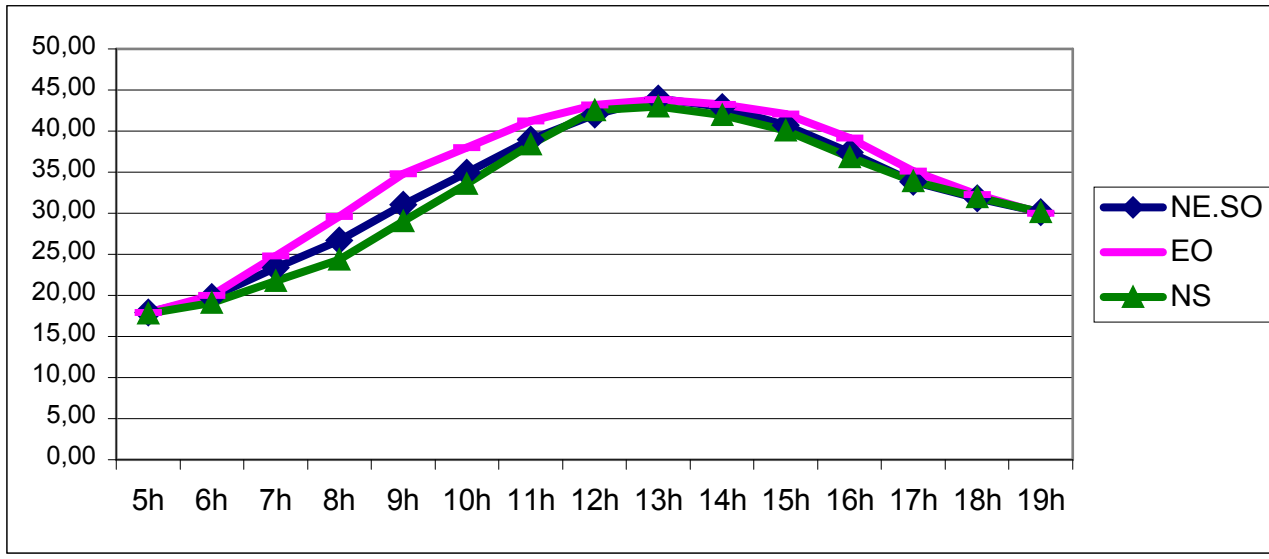


Fig : 7.48 Température de surface en (°C) cour ouverte coté nord le 21 juin

Pour le deuxième cas où la cour est ouverte vers le coté nord, les résultats des simulations montrent l'intérêt de l'orientation Nord/Sud, les températures de surface ainsi que les flux solaires nets absorbés sont les moins élevées par rapport aux deux autres orientations. L'allure des courbes suivant le graphe fig. (7.47) et fig.(7.48) montrent que la cour orientée Est/ouest, est celle qui marque les valeurs les plus élevées. Par Comparaison des différentes orientations, pour les deux cas, on constate l'intérêt de la cour orientée Nord/sud avec une ouverture vers le nord voir fig.(749), pour l'ensemble des orientations.

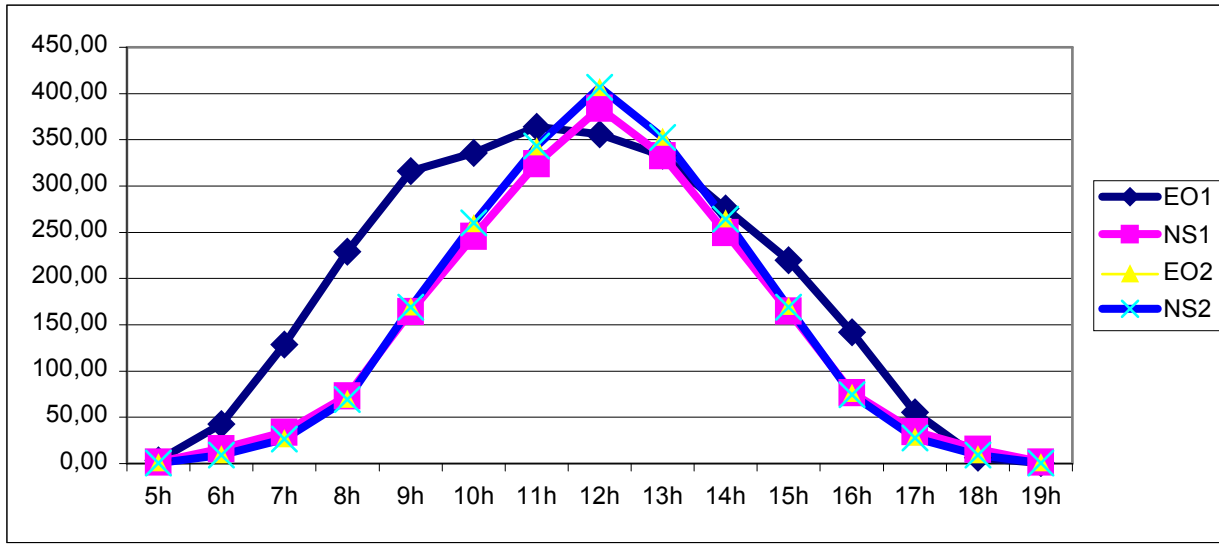


Fig :7.49 Flux solaires absorbes nets en W/m² pour les quatre orientations le 21juin

Ns1- cour ouverte coté Nord

Ns2- cour ouverte coté Sud

EO1- cour ouverte coté Nord

EO2- cour ouverte coté Sud

NB : Les allures des courbes EO2 et NS2 (cour ouverte coté sud)sont confondues.

Pour les résultats des simulation l'hiver on constate l'intérêt de la cour orientée Nord-sud ouverte sur le coté nord

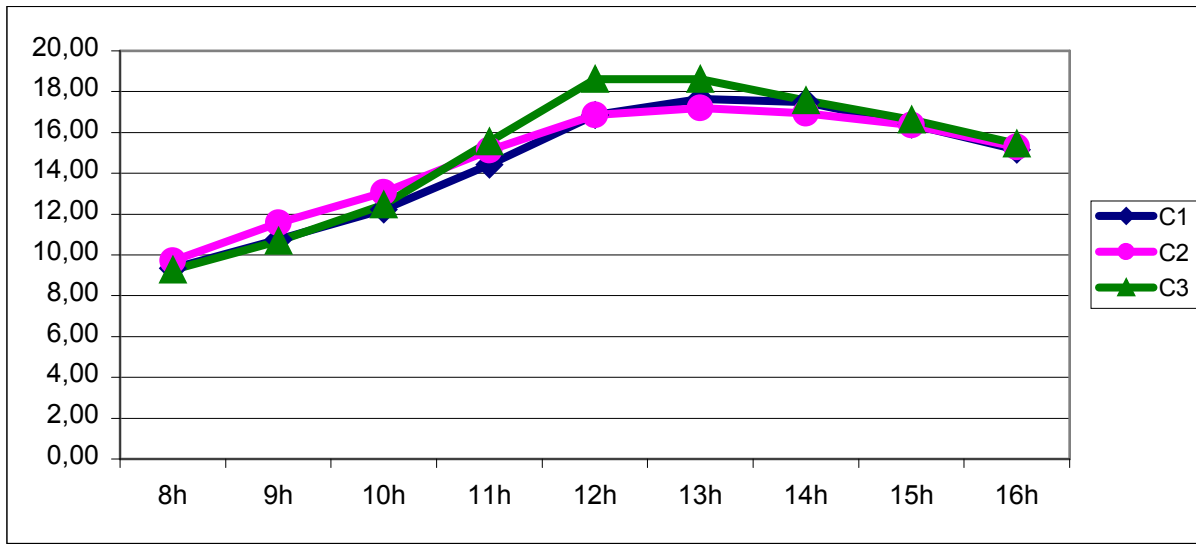


Fig : 7.50 Températures de surface en (°C) le 21 décembre

Cour ouverte coté Nord

C1 – orientation NE.SO

C2 – orientation E.O

C3 – orientation NS

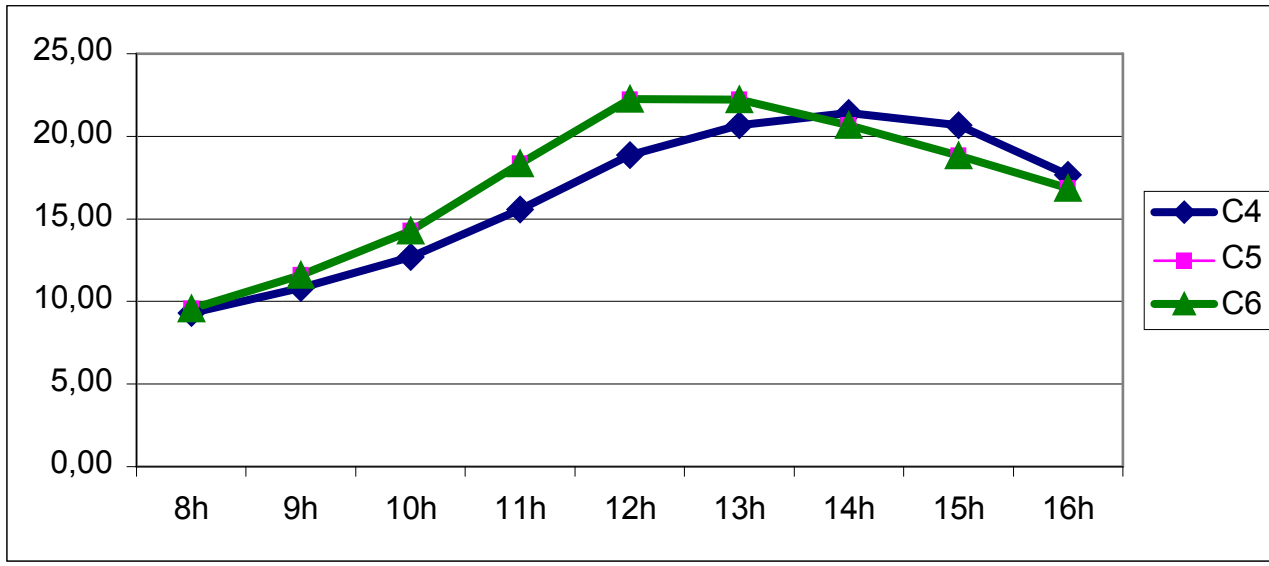


Fig : 7.51 Températures de surface en (°C) le 21 décembre
Cour ouverte coté sud

Nb : Les courbes C5 et C4 sont confondues

C4 – orientation NE.SO
C5 – orientation E.O
C6 – orientation NS

En conclusion et de l'examen des résultas de la simulation des quatre orientations, il en ressort que la cour orientée Nord-Sud (ouverte sur le coté Nord) présente les valeurs des flux solaires nets absorbés les moins élevées l'été, ce qui met en évidence l'influence du rayonnement thermique émis par la façade Nord.

En hiver et par comparaison des deux figures (7.50) et (7.51) la cour ouverte (du coté du sud) orientée suivant l'axe longitudinal Nord /Sud marque les valeurs les plus élevées des températures de surface et les flux solaires nets absorbés .

7.6 -Effet de la taille

L'étude de cette étape concerne la simulation de l'influence du changement de la taille de la cour sur l'intensité des valeurs des températures de surface et les flux solaires nets absorbées.Pour ce faire. la cour rectangulaire (2/3) à été considérée , c'est la

forme intermédiaire entre la cour carrée (3/3) et la cour rectangulaire allongée (1/3) voir Fig(7.52)

L'étude de l'effet de la taille se fait à travers la variation du volume de la cour, trois volumes sont prisent en compte :

V1 = 16.200 m³

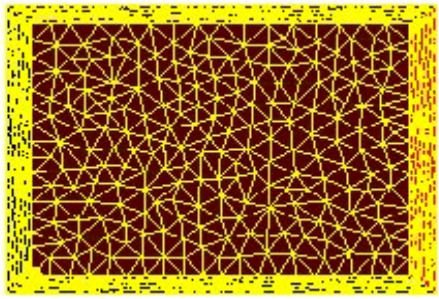
V2 = 8100 m³

V3 = 16.200 m³

Les simulation effectuées pour l'hiver et l'été et pour les trois directions Est/ouest, Nord/sud et nord-est / sud-ouest, les dimensions des cours considérées:

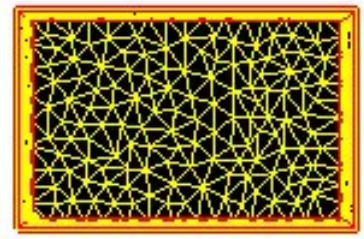
Taille grande : L = 42 m ; l = 28m ; h =14.00m
Taille moyenne : L = 33 m ; l = 22,50 m ; h =11.25m
Taille petite : L = 29.5 m ; l = 19 m ; h =9.50 m

Le rapport h/l etant maintenu proportionnelle pour chaque taille



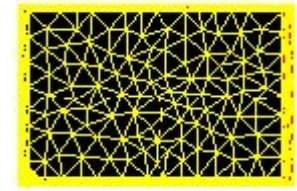
Cour V1= V

V = V1



Cour V1= V/2

V = V/2



Cour V2= V/3

V = V/3

Fig :7.52Taille des cours simulées

Source : Solene

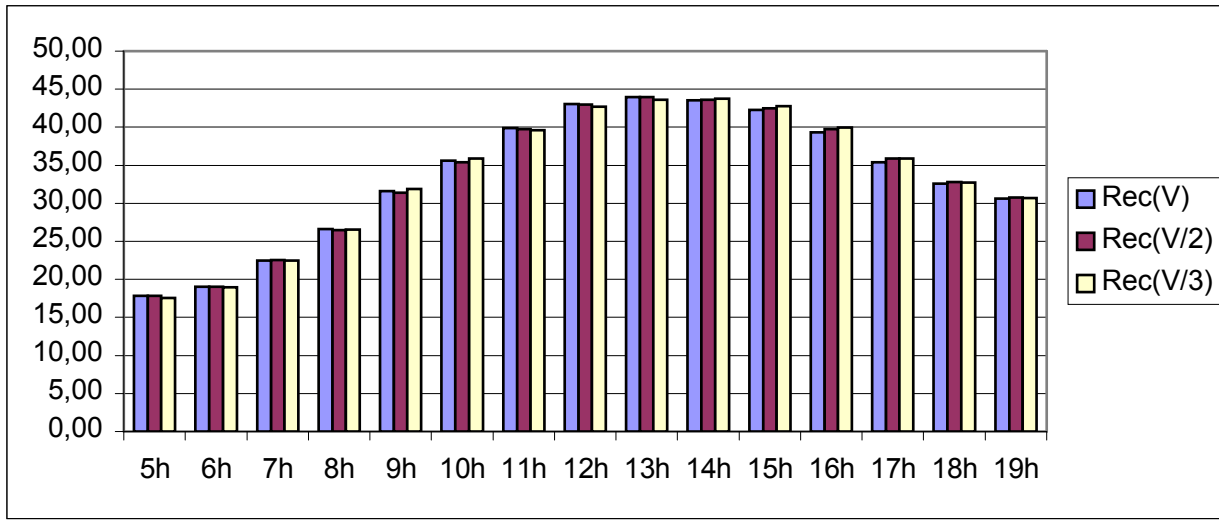


fig. : 7.53 températures de surface en (°C) orientation EO le 21 juin

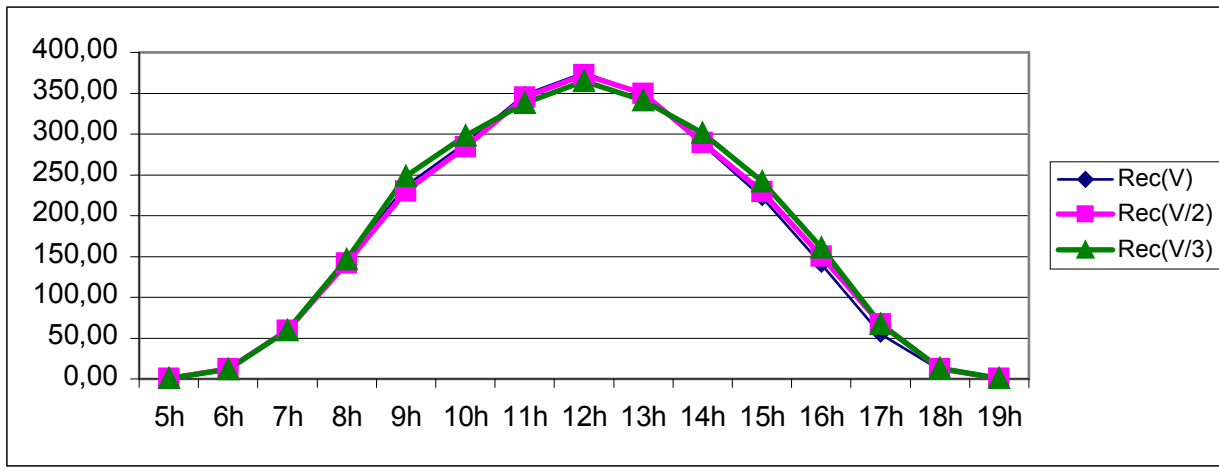


fig. : 7.54 Flux solaires nets absorbes en (w/m²) orientation EO le 21 juin

De l'examen des résultats des simulations de l'influence du changement de la taille sur l'intensité des valeurs des températures de surface et flux solaires nets absorbés, il est à remarquer que l'allure des profils des graphes sont confondues pour le trois situations. La différence reste négligeable. Ce qui permet de confirmer que le changement de l'intensité des températures de surface et des flux solaires nets ne dépendent pas du dimensionnement, la variation de la température de surface entre la

maximale enregistrée pour les trois cours et la minimale ne dépasse pas les 0.6 °C l'été.

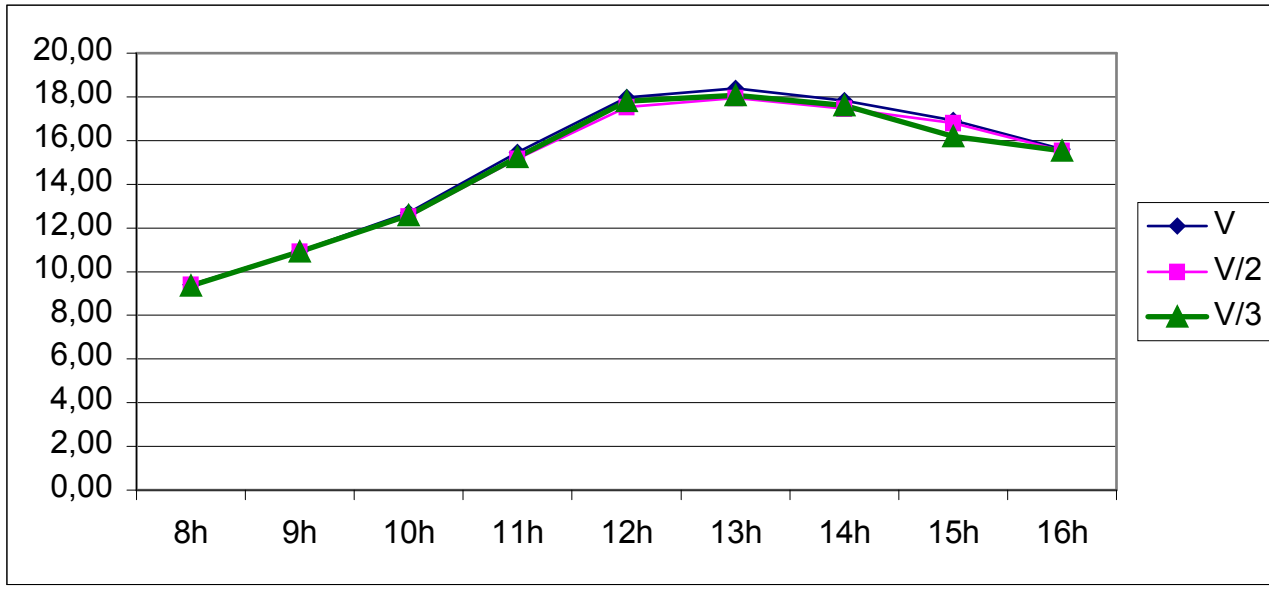


fig. : 7.55 températures de surface en (°C) orientation EO le 21décembre

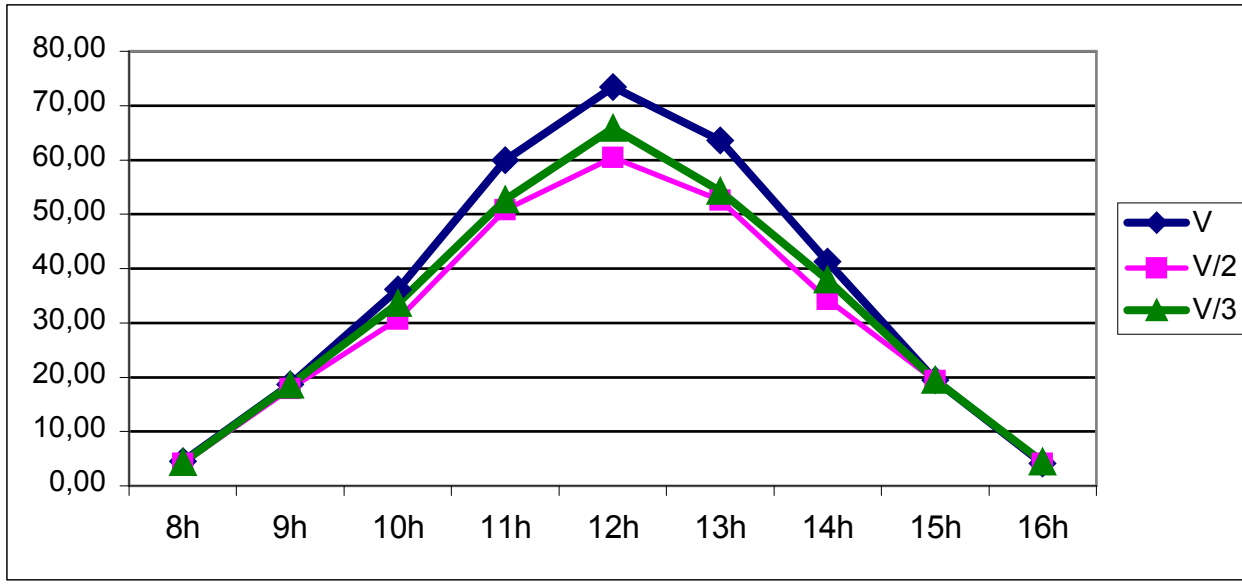


fig. : 7.56 Flux solaires nets absorbes en (w/m²) orientation EO le 21decembre

En hiver les résultats de la simulation montrent l'intérêt de la taille V1 avec une valeur maximale de la température de surface de 18.39 °C à 13h00 contre 18.06°C pour la taille V3 et 17.96°C pour la taille intermédiaire. Les flux solaires nets absorbés

obéissent à la même logique de distribution que le températures de surface, avec une valeur maximale de 73.81 w/m² pour la taille V1 , 65.84 w/m² pour la taille V3 et enfin 60,82 w /m² pour la taille intermédiaire. La confrontation des résultats des deux saisons pour les trois tailles, suivant les trois orientations permet de conclure que la taille V1 est la taille qui marque les meilleurs valeurs et qui conviennent pour les deux saisons malgré que la différence avec le deux autres tailles reste légère.

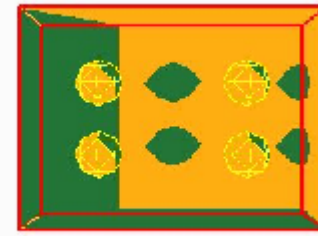
7.7 - Effet de la végétation

7.7.1 – Effet des arbres opaques

Dans les simulations qui suivent, l'enveloppe de l' arbre est considérée comme une surface totalement opaque dont la température de surface ; grâce à l'évapotranspiration ; peut être assimilée à celle de l'air ambiant. En conséquence, dans le modèle de calcul,

- L'arbre joue un rôle de maque solaire pour la transmission solaire vers les façades et le sol, de même pour les multiréflexions solaires et les échanges radiatifs GLO entre les façades et le sol.
- L'arbre reçoit de l'énergie solaire, mais celle-ci ne modifie pas sa température de surface qui est fixée. Cependant, la partie réfléchie par du flux solaire est considérée.

La configuration choisie pour l'étude de l'effet la végétation est la cour 3/2. Pour trois orientations , le NS ,EO et le NE-SO L'agencement des arbres donne lieu à de multiples possibilités (Central, aligné ou isolé) deux types d'agencements ont été choisis (cas1 et ca2), Voir fig. (7.57) et fig.(7.58). ces types d'agencements sont particulièrement les plus fréquents dans les cours des édifices publics. Les arbres Considérés sont des arbres de 10 m de hauteur (le tronc de 3.5 m et la hauteur de la couronne végétale est de 6.5 m). Les simulations ont pour objectives, la quantification des températures de surfaces et des valeurs des flux solaires absorbés par les différentes parois et le sol. L'influence de la végétation sur le confort thermique sera détaillée dans la phase suivante.



Espacement de 10m **Espacement de 20m**

Cas (1) **Cas (2)**

Fig : 7.57Orientation EO

cas(1) **cas(2)**

Fig :7.58 Orientation NE.SO

A l'issue des simulations précédentes, l'impact de la végétation peut être quantifié à différents niveaux.

Dans un premier temps les arbres sont considérés opaques et que la masse végétale ne laisse passer aucun rayonnement solaire.

Dans un deuxième temps de simulation, la caractéristique de la végétation et sa capacité à ne laisser passer qu'une partie des rayons solaires a été pris en considération . Le coefficient de transmission à travers la couronne végétale, est variable d'une saison à une autre, suivant l'étude déjà faite chapitre (V § 5.11.1), afin d'intégrer cette notion dans les simulations, les valeurs de ce coefficient ont été considérée 10 % des apports solaires incidents dan un premier temps puis 35%. Cette porosité permet de mettre en évidence la densification de la végétation qui induit de profonds changements quant aux rayonnements solaires incidents transmis au niveau du sol et des façades. Nous illustrons ce point dans les deux situations étudiées .Dans les deux cas il est à remarquer que deux zones recouvrant environ 40 % du sol sont protégées du rayonnement incident intense à cette période de la journée (14h00) et viennent s'ajouter aux pourcentage du sol à l'ombre des parois.

Les valeurs des températures de surface enregistrées pour les trois orientations et selon les deux cas sont comme suit, pour les heures les plus sollicitées par le rayonnement solaire

Heures	Températures de surfaces(°C)					
	Cas1-EO	Cas1-NS	Cas1-NE-SO	Cas2-EO	CAS2-NS	Cas2-NE-SO
10h00	34.37	33.72	33.73	34.45	34.12	33.90
12h00	41.47	41.25	41.47	41.42	41.58	40.89
14h00	41.97	41.37	41.87	41.84	41.91	41.93
16h00	38.12	37.32	37.47	38.27	37.69	37.70

Tableau :7.6 températures de surfaces pour le deux cas

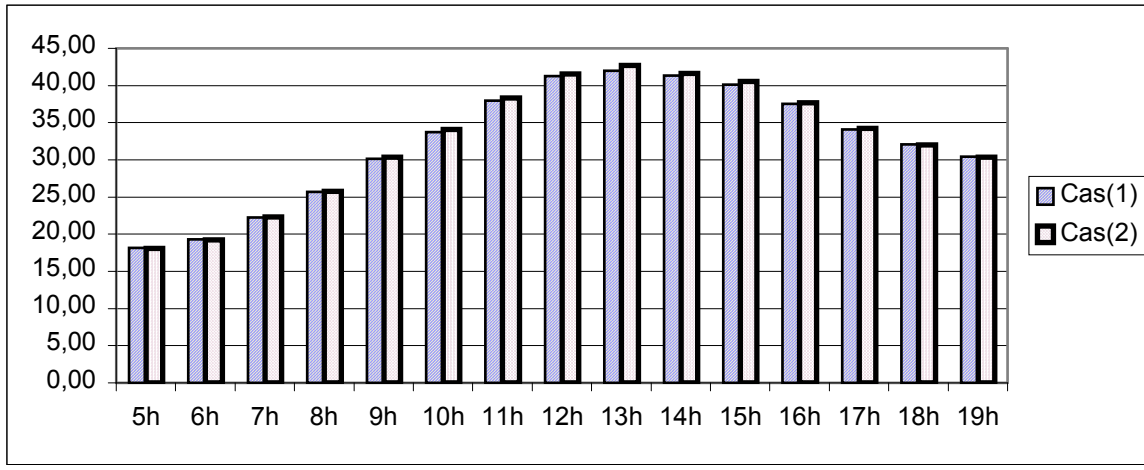


Fig : 7. 59 agencement des arbres Cas(1) et Cas (2) orientation NS le 21 juin

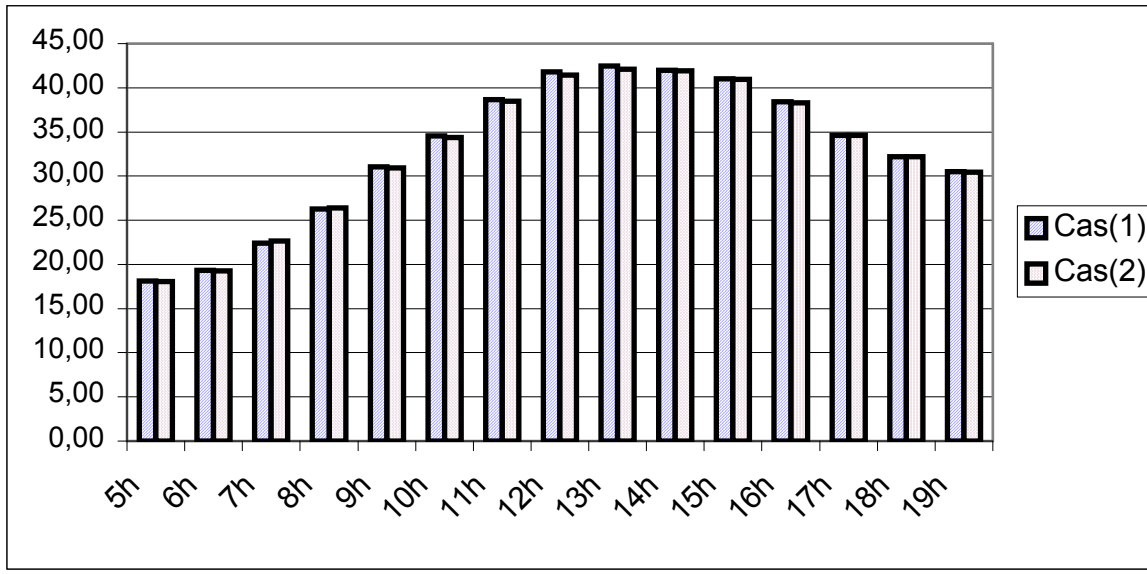


Fig :7. 60 agencement des arbres Cas(1) et Cas (2) orientation EO le 21 juin

De l'examen des résultats des simulations des cours avec végétation l'été, il est à remarquer que pour la première situation cas (1) tableau (7.6) la cour orientée Est/ouest ,marque les valeurs les plus élevées à 14h00 avec 41.97°C contre 41.87°C pour l'orientation Nord-est/Sud-ouest et 41.37°C pour l'orientation Nord/Sud

Par comparaison et pour les mêmes orientations dans le cas vide ; déjà présenté dans ce chapitre ; les réductions des températures de surface dues à la présence de la

végétation est en moyenne de 1.80 °C. la variation maximale entre des zones ensoleillées est des zones à l'ombre des arbres dépasse en moyenne les 8°C.

Cet impact des arbres sur le microclimat est celui qui entraîne le plus de conséquences sur la caractérisation des conditions de confort en espace extérieur, comme il sera montré un peu plus loin dans ce chapitre.

Pour la deuxième le type d'agencement cas (2) (tableau 7.6) La cour orientée Nord-est/Sud-ouest marque les valeurs des températures de surface les plus élevées, avec une maximale de 41.93°C 14h00 contre 41.91°C pour l'orientation Nord/Sud et 41.84°C pour l'orientation Est/ouest, les flux solaires nets absorbés obéissent à la même répartition. Pour les mêmes orientations et par comparaison au cas (1) présenté ci-dessus les réductions de températures de surface dues à la disposition de la végétation est en moyenne de 0.35 °C. Ce résultat confirme l'influence de l'agencement et la disposition des arbres sur les températures de surfaces et les flux solaires nets absorbés. L'intérêt est apporté au type d'agencement avec végétation centrale cas (1) avec une orientation Nord/Sud, qui marque dans les deux cas étudiées les valeurs les plus faibles. Par contre pour le type d'agencement cas (2) l'orientation Est/ouest marque les valeurs les moins élevées. Ceci confirme l'influence du type d'agencement sur le microclimat régnant dan la cour .

Orientation NS **Orientation NE.S0**

Fig 7.61 : effet de l'ensoleillement à 14h00 le 21 décembre

7.6.2-Effet de la transmission des arbres

Dans la deuxième phase de la simulation et pour mettre en évidence l'influence de la transmission solaire à travers la couronne végétale, la configuration (Cas 1) avec une

orientation Nord/Sud a été choisie, avec dans un premier temps, les flux solaires transmis à travers couronne végétale prennent en compte le fait que la masse foliaire des arbres présents dans la scène ne laissent passer que 10 % de l'énergie incidente. Dans un deuxième temps avec un pourcentage de transmission de 35%(4). (voir tableau(7.7) .

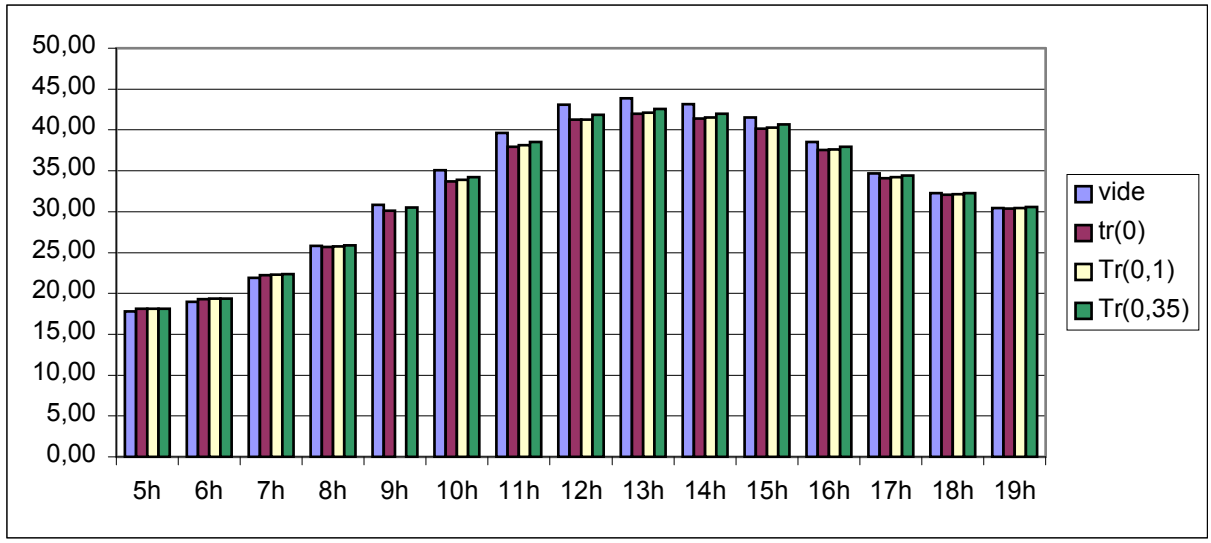


Fig :7.62 transmission à travers la couronne végétale le21 juin
Cour 2/3 orientation NS

Heures	Températures de surface(°C)		
	opaque	Transmission 10%	Transmission 35%
10h00	33.72	33.87	34.24
12h00	41.25	41.45	41.88
14h00	41.37	41.54	41.98
16h00	37.52	37.63	37.92

Tableau 7.7- Températures de surface avec transmission végétale
Cour2/3 orientation NS

(4)Voir détail des résultats en annexe

Les résultats de simulation montrent que l'augmentation des températures de surface due à la transmission solaire marque une variation moyenne de 0.20°C pour un pourcentage de transmission de 10% est une variation moyenne de 0.55°C pour une transmission de 35%.

Cette porosité permet de mettre en évidence l'intérêt du choix des types d'arbres la densification dans la masse foliaire de la végétation qui induit de profonds changements à travers le temps quant aux rayonnements solaires incidents transmis au niveau du sol et des façades et par cela sur le microclimat régnant (voir annexe III)

Comme il a été observé, la végétation réduit les valeurs de la température de surface sur les parois et le sol, les écarts les plus élevés sont observés surtout sur le sol ces valeurs dépendent de l'heure de la simulation et des orientations

Les surfaces à l'ombre des murs sont plus fraîches que celles à l'ombre des arbres (effet de transmission solaire). Des effets de coins sont réparables avec une augmentation de quelques degrés près d'un mur chaud par apposition au centre de la cour (effet de facteur de vue du ciel). Les températures de sol peuvent atteindre des valeurs élevées. Des écarts de 10°C entre une surface au soleil et une surface à l'ombre sont relevés.

Pour l'hiver l'étude de l'influence de la de la présence de la végétation dans la cour suivant les deux dispositions cas (1) qui considère la disposition centrale des arbres et le cas (2) qui considère des arbres aux coins de la cour a été effectuée selon les trois orientations le pourcentage de transmission considéré est de 85%(arbres de types caducs).

De l'examen des résultats obtenus , il est à remarquer que le sol ne reçoit aucun rayonnement solaire en hiver , seule la partie haute de la paroi sud est exposée au rayonnement solaire voir fig.(7.58).Aucune influence sur les températures de surface et les flux solaires nets absorbés, pour le deux types d'agencement, malgré qu'il est à remarquer une légère baisse des températures de surfaces pour le types d'agencement cas (2) qui reste négligeable qui est de l'ordre de 0.2°C.

7.8- Evaluation du confort thermique

7.8.1-Analyse des conditions de confort

Tous les éléments nécessaires étant réunis pour passer à l'analyse des conditions de confort les configurations de cours simulées. En effet, les paramètres nécessaires à sa détermination sont obtenus à la sortie des simulations, l'humidité de l'air étant le seul paramètre fixé comme équivalent à la valeur relevée à la station météo. Les températures choisies sont d'une journée chaude d'été qui correspond au 28 juillet, les vitesses de l'air peuvent alors être associées aux températures radiantes moyennes obtenues par intégration des apports solaires et des échanges radiatifs de courtes et grandes longueurs d'onde. Des indices de confort et des bilans énergétiques peuvent alors être évalués et servir d'indicateur à la caractérisation des conditions de confort.

7.8.2 Les indices utilisés dans Solene

Cinq configurations ont été choisies pour l'estimation du confort thermique.

- configuration rectangulaire allongée 1/3(cas 1)
- Configuration rectangulaire vide 2/3(cas2)
- Configuration carrée vide (cas3)
- Configuration rectangulaire 2/3 avec arbres aux centre (cas 4)
- Configuration carrée avec arbres aux centre(cas 5)

Dans les Cinq situations étudiées, il a été lieu de déterminer les niveaux de confort à l'aide des indices présentés dans le chapitre sur le confort thermique en extérieur(chapitre II). Ainsi, en appliquant le programme de calcul des températures radiantes moyennes en extérieur et le programme de calcul des indices de confort il nous est possible de représenter pour chaque maille de la scène étudiée les valeurs suivantes :

- La température radiante moyenne
- Le taux de sueur régulatrice déterminé par le bilan énergétique appliqué à l'individu.
- Le PMV modifié par l'introduction des flux radiatifs dans la température radiante moyenne ou dans un bilan appliqué aux vêtements. Le PPD associé peut être également évalué.
- L'indice de stress thermique DISC

Dans cette recherche on se limite aux deux premiers indices, pour deux raisons principales la température radiante moyenne et le taux de sueur sont conçus pour être

applicage aux confort dans les espaces extérieurs le deuxième le PMV etant modifié pour être applicable aux confort extérieur, l'indice de stress thermique n'est applicable que pour les conditions d'un climat chaud et humide.

Ainsi, la variation des valeurs de la température radiante moyenne a été estimer pour chacune des configurations.

Dans la situation vide, une partie de la place est protégée mais la zone centrale reste à un niveau qui empêche toutes conditions de confort (Tmr > 40°C).

Nous avons pu relever que les températures de surface calculées à l'ombre des arbres sont proches de la valeur de la température de l'air. Ainsi, la température moyenne radiante est également proche de la température d'air, par opposition au cas où la surface serait ensoleillée et pour laquelle la valeur est réellement supérieure.

Les surfaces à l'ombre des murs sont plus fraîches que celles à l'ombre des arbres (effet de transmission solaire). Des effets de coins sont réparables avec une augmentation de quelques degrés près d'un mur chaud par apposition au centre de la cour (effet de facteur de vue du ciel). Les températures de sol peuvent atteindre des valeurs élevées. Des écarts de 12 °C entre une surface au soleil et une surface à l'ombre sont relevés. Ce point est important car la température radiante moyenne est alors beaucoup plus faible à l'ombre.

Heure	Cas1	Cas2	Cas3	Cas4	Cas5
10h00	37.48	37.87	38.36	34.02	35.30
16h00	38.33	35.80	34.94	33.48	33.17

Tableau.7.8 : Température radiante en (°C) pour les cinq cas

Orientation EO

A partir de ces résultats, nous avons tenté une estimation du confort thermique pour une personne dans la cour. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur des travaux

qui ont mené à la définition d'un indice de contrainte thermique. A l'équilibre thermique, la production de sueur (S_w) est un phénomène thermorégulateur suffisamment efficace pour équilibrer la production de chaleur interne par le métabolisme et les échanges avec l'environnement. L'efficacité du rafraîchissement par sudation est un facteur important car lorsque ce refroidissement n'est plus suffisant, le taux de sueur devient plus élevé et l'inconfort peut être atteint.

L'approche retenue ici est similaire à celle adoptée pour l'Exposition Universelle de Séville de 1992 Alvarez et al. 1992 (5) . Le critère pour un confort potentiel en espace extérieur est lié à l'activité de l'individu. Pour un individu assis, le taux de sueur régulatrice ne doit pas dépasser la valeur seuil de 60 gr/h, alors que pour un individu marchant, cette valeur est fixée à 90 gr/h.

D'après les résultats de simulation, il est à constater, que pendant la journée type d'été, et pour deux période de la journée choisie 10h00 pour la matinée et 16h00 pour le soir pour une personne se trouvant dans la cour et cela pour cinq configurations choisies les résultas sont les suivants :

Heure	Cas1	Cas2	Cas3	Cas4	Cas5
10h00	71,17 g/h	86.76	88.20	59.26	66.44
16h00	136.42g/h	119.64	117.26	108.05	100 .53

Tableau :7.9 Taux de sueur régulatrice en g/h pour les cinq cas
Orientation EO

Les résultats révèlent l'intérêt de la cour rectangulaire allongée, pour ce qui est de la

---

5 cité par Vinet J , 2000 p175

cour sans la végétation(vide), le matin avec un taux de sueur de 71.17g/h contre 86.76g/h pour la cour rectangulaire 2/3 et 88.20 g/h pour la cour carrée.
Pour l'après midi la cour carrée marque la valeur la moins élevée avec 117.26 g/h contre 119.64 g/h pour la cour rectangulaire 2/3 et 136.42 g/h pour la cour allongée 1/3
Les résultats de simulation de la cour avec végétation et pour les deux cas rectangulaire 2/3 et carrée montre que la cour carrée marque les valeurs les plus élevées.

D'après le taux de sueur calculer pour les différentes situations et en considérant le seuil de 90g/h, il est à conclure que seule la situation (cas5) la personne est au confort le matin jusqu'a 11h00 pour les autres cas, le confort est seulement jusqu'a 10h00 pour les heures d'après midi, toutes les situations ne sont au confort qu'après 16h00 l'intérêt est apporté a la cour rectangulaire 2/3 (cas 4)et la cour carre (cas 5)
la recherche ce que nous affirmons par contre, c'est que la présence d'arbres dans ce type de situations climatiques peut améliorer sensiblement la pratique des espaces dans les cours intérieures en ramenant des conditions extrêmes à des niveaux plus raisonnables.

7.9 – Conclusion

En nous appuyant sur des travaux analysés dans la première partie (partie théorique), nous avons mis en évidence certains paramètres architecturaux simples qui semblent avoir un impact sur l'ambiance thermo-radiative d'une cour. Ce sont ces paramètres que nous avons repris afin qu'ils servent de point de départ à l'analyse paramétrique. Afin de cerner l'impact qu'ils peuvent avoir sur le comportement thermique d'une cour avec différentes géométries de base sur lesquelles ce sont effectuées les simulations. Les supports d'études définis traduisent la combinaison de trois paramètres que sont : les dimensions spatiales (rectangulaire étroit, rectangulaire large, carré), Après avoir effectué ce travail préalable qui s'inscrit dans une démarche de sélection des objets à étudier, nous avons dans un deuxième temps justifié le choix des outils à employer pour simuler les configurations retenues. Constatant que l'étude nécessite d'effectuer pour prédire correctement le comportement, nous avons envisagé d'utiliser le logiciel Solene pour le réaliser. Les procédures utilisées pour modéliser les flux solaires ont été adaptées au cas de la cour (pour évaluer les différentes composantes des flux arrivant sur les parois et le sol de la cour)

Les cas d'étude étant définis et les aspects de modélisation étant résolus, il a été présenté plusieurs séries de simulations menées dans le cadre de l'analyse paramétrique de la cour. Ces simulations visaient à montrer l'influence des paramètres étudiés sur le comportement thermo-radiatif des configurations qui ont servi de support d'étude. Tout au long de cette entreprise, trois types d'investigations ont été effectués .

- La première consistait à simuler les différentes configurations vide (sans la végétation)ou il a été montré l'influence de l'orientation, est la remise en cause de l'orientation suivant l'axe longitudinal Est-ouest pour le climat d'un climat contrasté, une autre simulation a été consacrée à l'étude de l'effet de la forme ou il a été montré l'intérêt de la cour allongée avec des proportions 2 /3 l'étude de l'influence de la taille et la hauteur ont montré le peut d'effet de ces derniers sur le changement de valeurs des températures de surface et des flux solaires nets absorbés.

- La deuxième série de simulation consistait à soumettre des configurations par un choix de plantation d'arbres. Cela a été possible grâce à un sous-programme récent inclus dans Solene, il est important de préciser que le logiciel Solene dans la version que nous avons utilisée a permis de gérer les transparences(coefficient de transmission des arbres). L'objectif essentiel consistait à montrer les avantages ainsi que le rôle des arbres dans la participation de l'amélioration du confort dans la cour . Les distributions des températures de surface obtenues à l'aide des simulations ont permis de rendre compte que la présence de la végétation influe sur les températures de surface et par la suite sur le microclimat régnant .
- la troisième étape de la simulation quant à elle consistait à soumettre les configurations choisies au test de l'évaluation du confort thermique. à partir de ces différents tests ne concernant qu'une orientation donnée (Nord / Sud).Cinq cas ont été choisis .Même si quelques constats généraux tendent à montrer des similitudes entre les profils observés d'une forme à une autre, les quelques simulations réalisées ont montré l'importance du choix d'une cour plantée sur l'ambiance thermique d'une cour.

Introduction

Parmi les dispositifs qui trouvent l'aptitude de la continuité et l'enracinement dans l'histoire de l'architecture le thème de la cour intérieure. Les édifices publics, l'introduisent fréquemment comme élément constitutif. Cet espace ouvert se distingue des espaces extérieurs par des structures pouvant filtrer les sollicitations climatiques et par conséquent protégent partiellement ou totalement les usagers.

Les cours intérieures, formes répandues auxquelles font appel beaucoup d'architectes dans leurs projets, sont caractérisées par des influences et variations climatiques et thermiques, et peuvent définir des situations microclimatiques particulières. Il est difficile de prédire l'ambiance microclimatique d'une cour au tout début du projet, car les paramètres susceptibles d'avoir une influence sur le comportement thermique et radiatif sont divers et complexes .

Ces espaces qui se caractérisent par leur grande taille et par leurs nombreux avantages qu'ils offrent au bâtiment, permettent souvent de solutionner des problèmes d'éclairage naturel et de fonctionnement. Plus encore, la cour devient un élément qui participe par son esthétique au prestige de l'édifice. En revanche, l'exposition partielle aux sollicitations du climat et les exigences du confort thermique les rendent potentiellement soumis à des désordres du point de vue des ambiances climatiques et au moment oū le bien-être des usagers s'en trouve affecté si ces sollicitations et variations climatiques ne sont pas bien contrôlées .

A travers cette étude, des critères d'ordre quantitatifs (l'ensoleillement et les apports énergétiques) et des critères d'ordre qualitatifs (microclimat et usage), ont été approchés. Le but était de montrer l'impact de chaque choix architectural, à travers l'étude de plusieurs configurations et l'évaluation de l'ordre de grandeur des variations climatiques et énergétiques liées aux caractéristiques physiques et géométriques de la cour (configurations, dimensions, nature des surfaces, végétations). A travers cette étude l'objectif principale était la définition des phénomènes qui influent sur le microclimat ambiant dans la cour ,ainsi que le degré de leur impact sur le confort des usagers.

Recommandations

Nous proposons dans cette partie de dégager des éléments pouvant servir à l'établissement d'un guide de règles expertes destinées à l'usage des concepteurs. A partir de la classification faite précédemment , ce guide de plusieurs propositions d'une série d'éléments d'aide à la conception et intervenant dans le processus de la conception d'un édifice comportant une cour intérieure. Cette étape vient conclure les travaux de l'analyse paramétrique sur les cours intérieures. En fonction des résultats obtenus, nous nous sommes efforcé tout au long de cette recherche, de présenter les volets essentiels sur lesquels peut être axé un guide qui serait destiné à l'usage des concepteurs.

La cour étant un espace extérieur inclus dans les édifices publics ou ses pratiques sociales sont une réponse adéquate et s'avère comme constructive du bien être et plaisir des usagers créant ainsi confort et qualité de vie. En plus de la valeur sociale que génère l'introduction d'une cour dans un édifice public, à savoir : esthétique, psychologique, contrôle thermique etc.

Les différents rôles et fonctions que peut jouer la cour nous permettent de définir les concepts spécifiques à l'appréhension de cet espace.

Les résultas obtenus selon l'étude quantitative nous permettent d'émettre plusieurs recommandations :

- L'orientation Nord-est / Sud-ouest est recommandée, l'orientation de la cour etant plus prononcée pour les cours de formes allongées pour le cas la forme rectangulaire 1/3 .Comme l'effet de l'orientation est plus prononcé l'hiver que l'été l'intérêt est portée pour l'orientation Nord-et / Sud-ouest qui peut donc satisfaire les deux saisons.
- Pour le choix de forme géométrique, la forme carrée (3/3) est recommandée dans l'ensemble, malgré que la cour de proportion 1/3 pour le cas de l'orientation Nord/sud marque les valeurs les plus hautes durant l'hiver , pour les températures de surface et les flux solaires nets . Cependant pour les autres cas, la forme carré marque les valeurs le plus élevées avec un grand écart, cet écart est plus remarquable pour le cas de l'orientation Est/ouest. En ce qui concerne la forme rectangulaire de proportion 2/3, les résultats montrent qu'elle prend la position intermédiaire pour les trois orientations.
- La hauteur intermédiaire h/3 qui correspond à une cour de trois niveaux est recommandée . L'effet de la hauteur sur la répartition de températures de surface est

plus prononcé l'été, la différence entre le trois configuration tant remarquable, tandis que l'hiver la différence est faible . Dans l'ensemble la différence entre le trois situations demeure faible malgré l'intérêt que présente le profil h/3 (cour de trois niveau), vu qu'il permet de satisfaire les deux saisons.

- La végétation doit être disposée aux centre de la cour pour le cas d'une cour de proportions 2/3 est suivant l'orientation Nord-sud.
- la disposition de la végétation aux coins est à éviter pour le cas d'une orientation Nord-sud, mais recommandée pour le cas d'une orientation Est-ouest
- le choix des arbres de type caduc est recommandé.

Conclusion

Le présent travail a été divisé en deux parties. Après avoir présenté en premier lieu, le contexte d'étude par la définition de la problématique, le cas d'étude, les objectifs et la méthodologie de la recherche.

Le premier chapitre était consacré au climat. Il comprend une recherche bibliographique sur l'historique du climat et ses échelles, oū il a été constaté une grande diversité de climats à travers le monde. Il a été conclut que la ville de Constantine présente un climat contrasté avec un écart de température entre le jour et la nuit, présentant un hiver froid et pluvieux et un été sec et chaud, ce qui à pousser à chercher les conditions de confort dans les deux saisons. Comme Il a été aussi présenté dans ce chapitre un état de l'art sur le microclimat. Sans que l'on puisse prétendre à l'exhaustivité, cet état donne l'essentiel en la matière.

Le deuxième chapitre a été consacré a la notion du confort thermique, est précisément les contions de confort dans les espaces extérieurs. Le confort thermique en extérieur et devenu un sujet de recherche très étudié depuis quelques années. Son estimation présente une difficulté nécessitant la connaissance de plusieurs paramètres liés tant à l'environnement qu'à l'individu. En effet, la cour constitue un espace ou interagissent de manière complexe la forme, les phénomène physiques perceptibles et l'usage qui rendent les ambiances difficilement compréhensibles et très peu maîtrisables.La partie quantifiable a été définie avec des modèles et indices thermiques plusieurs de ces

indices ont été présentés, ils sont applicables à l'extérieur par l'intégration des échanges dus au rayonnement solaire.

Dans le troisième chapitre il a été constaté que certains phénomènes climatiques se créent suivant la diversité de formes, l'interaction entre le rayonnement solaire et les aspects formels de l'espace induit de différents effets microclimatiques (effet du canyon, espaces dégagés, espaces couverts, etc.…) et que certains phénomènes peuvent se créer au niveau extrêmement localisé (effet de dièdre, effet de coin …etc.)

Au début du quatrième chapitre, il semblait nécessaire d'introduire ce travail en soulignant les conditions d'émergence des cours à travers un bref aperçu historique. Il paraissait ensuite essentiel d'analyser les caractéristiques formelles et fonctionnelles des cours tels qu'elles sont conçues aujourd'hui. Ce survol était donc indispensable compte tenu de la nature du sujet traité. Celui-ci s'inscrit en grande partie dans le champ de l'architecture. L'étude s'est basée sur la recherche bibliographique, il a été intéressé aux aspects comportementaux de la cour. Dans cette partie la notion de la cour intérieure a été recadrée à partir d'une analyse sommaire de plusieurs exemples. La cour plus qu'un vide entre deux corps de bâtiments, est un espace extérieur interne, inclus, enfermé, un espace de nature d'air de lumière, d'eau et de végétation. La cour dans les édifices publics joue un rôle fondamental : c'est aussi un espace de circulation, de convivialité, de convergence et de rayonnement.

Le cinquième chapitre consacré à une analyse des aspects microclimatiques engendrés par les échanges thermo-radiatifs. Afin d'amorcer ce travail, il a été nécessaire en premier lieu d'entreprendre une analyse exploratoire dans le but de mieux comprendre le comportement thermo-radiatif des cours, cette analyse avait comme buts de mieux comprendre les phénomènes qui gouvernent le comportement microclimatique des cours, et de mettre en évidence les conséquences qui résultent. Toujours en s'appuyant sur des travaux de recherche et prévoyant d'utiliser la simulation par la suite, il était utile de s'intéresser aux outils de simulation employés dans ces espaces dont le comportement est souvent difficile à appréhender. A ce sujet, il faut souligner que la prédiction ou l'analyse de l'ambiance microclimatique d'une cour n'est envisageable qu'en utilisant un outil de simulation pouvant décrire précisément le

champ thermique. Cette partie a permet de montrer aussi que le contrôle microclimatique dans les cours intérieures peut être assuré par des aménagements raisonnés à l'aide de dispositifs naturels, tel que l'eau et la végétation (bassins, arbres, fontaines, pelouse etc..) cette manière passive d'améliorer le microclimat dans les cours, peut s'ajouter aux choix de la configuration géométrique et des matériaux (aspects physiques et thermiques, textures, couleurs etc.)
L'ensemble des connaissances se rapportant aux études bibliographiques a permis de passer à la deuxième partie de cette recherche qui consiste à l'étude quantitative.

Le chapitre six concerne la présentation de la phase pré-simulation et la modélisation des phénomènes thermo-radiatifs. Notre choix s'est porté sur la simulation pour les avantages qu'elle offre, elle donne la possibilité de varier les paramètres géométriques et les propriétés solaires et thermiques des matériaux, ainsi que les conditions climatiques dans un temps très limité. La possibilité d'avoir un espace virtuel donne plus de liberté à l'investigation et le contrôle de ces propriétés, ainsi que les conditions climatiques combinées, ce qui avantageux par rapport aux autres méthodes expérimentales.

Dans le détail, de ce chapitre de cette deuxième partie, il a été présenté la méthode d'approche pour la modélisation des transferts de chaleur dans Solene, qui a servi comme outil de simulation, vu qu'il autorise une large gamme d'exploitation de résultats dans les espaces extérieurs (tracé d'ombres, quantification de l'ensoleillement, bilan énergétiques de façades etc.).
En dernier la description des traitements nécessaires à la simulation et ainsi les différentes étapes à enchaîner pour réaliser la simulation des changes radiatifs de courtes et grandes longueurs d'ondes qui s'insèrent dans l'environnement de travail du logiciel.

Le chapitre sept a été consacré à la simulation, le but était d'aborder les paramètres intervenant dans la distribution des flux solaires dans la cour ainsi que les conditions de confort dans cet espace. Des configurations représentatives ont était choisies. Nous avons tenu à illustrer notre démarche de simulation par une étude de cas basée sur des cours représentatives. Toutefois la prétention n'était pas de trouver la configuration idéale de la cour par ce que ceci exigerait un nombre de comparaisons infinies, mais

au moins d'arriver à des modèles qui pourraient être transposables dans un édifice public introduisant une cour.

L'impact de la végétation dans la cour est mis en valeur au niveau des facteurs microclimatiques importants gouvernant le confort en extérieur qui sont les apports solaires incidents, et leur influence sur les températures de surface et les flux solaires nets absorbés. La caractérisation des conditions de confort est obtenue dans le cas et dans la représentation de l'évolution au cours d'une journée chaude des zones de confort dans la scène.

Les résultats démontrent des différences sensibles dues à l'impact de la végétation au niveau de l'espace en lui-même par la présence de la végétation. De plus des changements du microclimat sont conséquents sur les quantités du rayonnement transmis, sur la réduction des températures de surface et des flux solaires nets absorbés. Enfin, les conditions de confort se sont améliorées de manière quantifiable par la présence de la végétation comme nous avons pu le démontrer dans le cadre d'une cour suivant différentes configurations, et selon le cas et le type d'agencement des arbres.

. Les différents indicateurs proposés pour la caractérisation des situations de confort en extérieur ne doivent pas être considérés comme des éléments validés qui apportent une valeur précise, mais ils doivent servir à des analyses comparatives et paramétriques permettant de mettre en correspondance plusieurs aménagements, afin de retenir celui qui est le plus intéressant.

Perspective pour des travaux futures

Conscient de la complexité de l'étude, il est impossible en une durée limitée d'étudier tous les phénomènes liés aux aspects microclimatiques dans les cours, mais néanmoins à travers cette étude il a été possible d'élaborer un canevas des éléments formels de contrôle thermo-radiatif dans les cours intérieures. Ces résultats peuvent constituer un guide dans le processus de conception d'un tel espace.

Les éléments formels et physiques de contrôle des ambiances se rapportant au contrôle climatique à partir des quelles une recherche future pourra se poursuivre.

Même si de nombreux objectifs de départ sont atteints, de nombreuses améliorations et des études plus poussées de manière à rendre encore plus précise l'analyse du microclimat dans les cours intérieures. Une recherche sur un sujet aussi vaste que celui abordé ici doit s'envisager sur le long terme, un certains nombres de propositions peuvent être déduites et formulées ainsi :

- La prise en cause des effets du vent dans les cours intérieures par un couplage thermo-aéralique : Elles correspondent essentiellement à la prise en compte de l'écoulement du vent dans des configurations choisies par comparaisons par des mesures peuvent être réalisées en soufflerie
- La prise en compte de l'effet évapo-transpiration des végétaux
- Seul la simulation de l'effet de la végétation sur le microclimat régnant était pris il serait intéressant de prendre en compte l'effet de l'eau dans une cour avec un bassin d'eau.

Ce type de perspective peut faire l'objet d'autres recherches microclimatiques, chacun de ces effets présente un des aspects déterminant la qualité d'usage des cours intérieures

Les perspectives que nous venons d'évoquer témoignent toutes du fait que le domaine de la connaissance experte reste à construire dans le cas des cours intérieures. Face aux contraintes environnementales qu'exige un bâtiment aujourd'hui, l'évolution des pratiques vers la maîtrise des ambiances climatiques demeure le gage de la pérennité de l'intégration d'une cour dans un édifice public.

Référence bibliographiques

Abdulac S et Pinon P «Maisons en pays islamiques : modèles d'architecture climatique »édition : Group expansion, AA, N°167, Mai-juin, 1973-paris,

Akbari et al. 1992 : Cooling our communities – a guibook on tree planting and light colored .U S.Environmental Protection Agency .Ofice of policy Analysis ,Climate change Division .Berkeley Laboratory , 217 p.

Ali Toudert , F, 2000: « Intégration dimension climatique en urbanisme »Mémoire de magister, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger

Arbaoui A ,(1998) : L'aménagement urbain dan les régions arides du sud algérien :considération climatiques. Revue : les cahier de l'épau , revue semestrielle d'architecture et d'urbanisme, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger N°7 /8 octobre 98

Arnfield.A.j (1990) "Street dsign and urban canyon solar access.Energy and buildings ,vol 14,pp117-131

ASHRAE 1993b Physiological principales and thermal cmfort .ASHREA handbook of fundamental .Atlanta :ASHREA,8.1-8.29

Avissar, R. (1996). Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. Atmospheric Environment, Vol 30, n 3, pp. 437-448.

Benadji A ,(1999) :Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Cas du sud-est algérien Thèse de doctorat université de Aix Marseille.

Barneaud G et al , 1974 : L'effet du vent dans les ensembles construits .Revue metrpolis n°6, mai 1974 ,p 38-43

Bensalem, R.(1991). "Wind driven natural ventilation in courtyard and atrium type buildings",Phd thesis,

Bensalem R et al (2000) : « les leçons de l'architecture traditionnelle :cas de la veille ville de Biskra » Acte 3eme séminaire international Biskra 2000

Berger x (1993)Vêtement et microclimat : gestion dynamique et modèles d'interfaces, in : journées d'études 6 p S.F.T Paris

Brindel-Beth et al (1998) :Isolation thermique et acoustique en résidentiel. Paris CFE, 328p.

Candas *et al.* (1991). Le vêtement : écran thermique et outil climatique nécessaire au confort thermique. Revue générale de thermique n° 356, .

Capderou ,M(1985) . « Atlas solaire de l'Algérie .Tome 2 » Office des publications universitaires

Chemillier P(1986) :Sciences et bâtiments , la démarche scientifique appliquée à la construction .Paris :Presses de l'ENPC ,CSTB,147p

Cousin ,j. (1986) : « L'espace vivant, introduction à l'espace architectural premier » édition Moniteur

[CSTB (1995). Climatologie générale. Nantes : CSTB, 50 p.

[De La Torre *et al.*1998] (1998). Microclimatic analysis of some urban scenarios. In proceedings of PLEA 98, Lisbon, Portugal, June 1998. London: James & James, pp. 159 – 162.

Delaunay D et al (2000) : La température radiante moyenne indice pour l'évaluation des ambiances thermiques dans les espaces extérieurs .Nantes .CSTB .40P

Depecker et al (1989)) .Qualité thermique des ambiances .Paris :AFME ,67p.ollection cahiers pédagogiques thermiques et architecture

Duplay C et al , 1982 : Méthode illustrée de création architecturale, édition le Moniteur Paris

El-Sadek S et al (1982)The Arab.City .he urban development institute.Riyadh ,Saudi Arabia.

Escourrou G ,1981 : Climat et Environnement : Les facteurs locaux du climat , édition le Monteur , Paris

Escourrou G , 1991 : Le climat et la ville .Paris :Nathan , pp .63 à 65

Estienne P et al 1970 : Climatologie Librairie Armand Colin, édition collection U
[Fanger 1970] FANGER, P. O. (1970). Thermal Comfort. New York : Mc Graw Hill.

Evans .J.M (1980) « Housing ,climate and comfort »The architectural Press.London

Fardeheb .F.(1988) "Design guidelines for communities in hot and aride climates of third world countries " In th passive solar Architctural Conférence Bled . Yougoslavia , 21-25 /03//88.PP164

Fernandez et al .1998 : Energy and environment at Expo 98 Lisbon. Proceedings of PLEA 98 Environmentally Friendly Cities , Lisbon, Portugal , juin 1998.

Galeou et al(1989) :Le confort thermique aspects physiologiques et psychosensoriels. Etude bibliographique. Strasbourg ,NRS ,113 p.

Givoni B ,1978 : L'homme l'architecture et le climat , édition Moniteur, Paris

Givoni B ,1989 : Urban design in different climates world meteorological organistation

Grivel F (1989) :Aspects physiologiques du confort thermique dans les bâtiments .Paris , PYC édition 1989.

Guillermo, A.(1983)"Les temps de l'eau "Chauvinisme Paris.

Groleau et al. (1997) : Evaluation ofnatural ventilation in traditional japanese dwellings and its possibilities oftransposition. In : Proceediings of PLEA 97, Kushiro, january 8-10. Tokyo :PLEA japan committee, vol. 2, pp. 15-20.

Groleau ,D (1998) SOLENE – Logiciel de simulation d'ensoleillement et de rayonnement – Guide d'utilisation. Nantes : CERMA, 62 p.

Groleau, D (2000)). SOLENE, un outil de simulation des éclairements solaires et lumineux dans les projets architecturaux et urbains. In : Colloque Artepa, Rouen, février 2000, 8p.

Groleau D. (2004). La modélisation des transferts radiatifsdans le logiciel SOLENE. Application au microclimat urbain et au confort thermique en espace ouvert. 2ème Conférence IBPSA France, Sophia Antipolis, 26 et 27 octobre 2004, pp. 29-35.

[Groupe ABC (1997) . Morphologie, végétal et microclimats urbains. Cas d'Aix-en-Provence et de Nîmes.Tome2, les mesures. Plan urbain, Ministère de l'Equipement, pp. 110 - 133.

Heschong . A,(1988) « Climatological uses of plants for solar control and th effcts on the hermal environment of building .Tokio institute of Technologiey,Japan ,Enenrgy and buillldings ,11,pp,181-199 .

[Hofmann 1994] HOFMANN, J. B. (1994). Ambiances climatisées et confort thermique. COSTIC, 120 p.

Humphreys et al (1998) :Understanding the adaptive appoach to thermal comfort .publishd in ASHREA Transactions .

Izard .J.L.(1979) : " Archi-bio" editions du Parenthéses

Izard .J.L.(1993) : « Architecture d'été .Construire pour le confort d'été» Edisud. Aix – en-provence

Izard .J.L (1994) "Contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en Architecture »Ecole d'architecture de Marseille- Lumminy.

Izard J L (1998) :Analysis tools of urban environment, thermography and angular studies";Jean-Louis IZARD (+G. DESTOBBELEIRE, J-P.MEVY); PLEA 98 "Environmentally Friendly Cities", Lisbonne, Juin 1998.

Kassab.T.(1998) « Evolution du patio dans la maison d'habitation individuelle en Algérie » Les cahiers de l'Epau N°7/8,Alger .

Konya A ,1980 :Design primer for hot climate , Withey library of design , New York

Krier (1975) « L'espace de la ville .Théorie et pratique »édition AMM

Lam,W.M.C (1986) « Sunlight a formgiver for architecture, van Nostrand Reinhold company New york(USA),250p

Leung S.K.(1981) « Thermally induced ventilation aplication in atria-state –of the art report California,Eureka labs .Inc,Sacaramento ,CA

Liébard A (2002) « Guide de l'architecture bioclimatique. Haute qualité et développement durable » cours fondamental: tome1,2 et 3, Systèmes solaires, Paris, .

Los S (1981) : "A Bioclimatic approach to urban space system " In proc.Of in .Passive and hybrid cooling conference .Miami ,Nov 91,A.S.I.S.E.S. pp.478-482

Marie J P(1987) : Architecture urbaine et confort climatique principaux résultats et renouvellement d'un programme de recherche .European conférence on architecture :preceedings of an international conférence held at Munich ,commission des communautés européenes,85 p.

Markus.T.A and Morris E.N (1980) : "Building climate and energy" pitman publihing ltd,London

Mazouz S(2000) : " L'interaction des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de construction architecturale. Thèse de doctorat d'état université Mentouri de Constantine

Mazouz .S (2004) « Eléments de conception architecturale»Office des publications universitaires

Mohsen .M (1979) « Solar radiaion and courtyard house forms » In Building and nvironnement .Vol14 .Ppergamon prss Ltd .UK.pp89-106,185-201.

Mestayer et al . 1994 : Climatology of cities in :Difson and Transport of polluants in atmospheric Mesoscale Flow Fields .Atmosphric Sciences Library ,Kluver Academic Publishers, Editors :Rys and Gyr , pp .165 – 189.

Miguet et al. (1996) : Eclairements énergétiques et lumineux en milieu urbain. Nantes, CERMA, 67 p.

Miguet et al (1996) : A combined sunlight and skylight tool for microclimatic analysis in urban architectures. In : Proceedings of the 4th European Conference on Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Berlin, pp. 338-345.

Misenard, A. (1972). Neutralité thermique physiologique. Thermique et Aéraulique n°8.

Muret, J. P. et al. (1987). Les espaces urbains – concevoir, réaliser, gérer. Paris : édition du Moniteur, 364 p.

Noilhan, J. (1980) : A model for net all wave radiation flux at the surfaces of a building, Building Environ. 16, 259-266.

Oke T . R ,(1987) : Bondary layer climates .London and New York :Methuen, Second edition first editon (1978), 435p.

Oke T. R , (1988) : Street design and urban canopy layer climate .In Energy and building , n° 11, pp. 103-111

Oueld H ,1993 : "Recommandations architecturales " Ministères de l'habitat édition ENAG, Alger

Parker .J.H ,(1989) " The impact of vegetation on air conditioning consumption .In proceedings of workshop on saving nergy an rducing amosphric pollution by controlling Summer hat islands,science division LBL,ed , Garbesi,K et al ,p45-52

Patrick B (1978) : Archi de soleil Editions du Parenthèses
Peneau P (1991) : Some problemsrelating to thenumerical simulation of urban ambient environments .Environment and planning B: planning and design ,1991 , volume 18, pp 107-117

Reynolds, J. S.(2002) Courtyards, aesthetic, social, and thermal daylight, John Wiley & Sons, New York, 2002, 241 p.

Perault. c, (1988) : « Les dix livres de l'architecture de Vitruve »édition pierre Mardaga

Remade F (1993) Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement édition science international

Sablet M(1991) : Des espaces urbains agréables à vivre Editions du Moniteur

Sacre, C. (1983). Caractérisation microclimatique des espaces extérieurs, du point de vue du vent et de la température. Paris : Les Annales de la Recherche Urbaine, n° 61. Les saisons dans la ville, 58p

Sangkertadi (1994). Contribution à l'étude du comportement thermo-aéraulique des bâtiments en climat tropical humide. Prise en compte de la ventilation naturelle dans l'évaluation du confort. Thèse de l'INSA de Lyon, 275 p.

Sealey A (1979) : Introdction to building climatology, published by the CAA 1979

Serres, L. (1997). Etude de l'impact d'une perturbation thermique locale de type tache solaire. Influence sur le confort thermique. Thèse de L'INSA de Toulouse, 148 p.

Steemers, et al. (1996). Project ZED : Modelling environmental characteristics of urban forms in : 4th European Conference on architecture, 26-29 Mar.Berlin, Germany / Bedford : H.P. Stephensen & Associates, pp. 4-7.

Siret D.(1997) " Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural .Application à l'ensoleillement »Thèse de doctorat de l'université de Nantes 309 p Ecole d'architecture de Nantes , le 13/06/1997

Siret ,D et Marenne C , 2000 : The internal courtyard of mixed use buildings,a device of thermal and luminous comfort , PLEA ,2003 du 9-12Novembre 2003 6p

Sprague *et al.* 1974 : A composite ensemblemethod for estimating thermal insulating values of clothing. Trans. ASHRAE,n° 2299, vol 80/1.

Suchultz , N (1985) „Habiter, vers une architecture figurative, édition Electa Moniteur paris , 1982, 205 p

Steemers K.A. (1996) : Low enrgy urban design, in Solar Energy in architecture and urban planing, proceedins of 3th European conference on architecure, Florence (Italy),pp.501-504

Szokolay s v (1980) :Environmental science handbook for achitects and builders ,the construction press Ltd Lancas, England

Twarowski .M (1968° « Soleil et architecture » Dunod Paris

WNO 1996 : World Meteorological Organisation .Climate Urban Development : WNO ,n°844,24p

Viers G, (1968) « Eléments de climatologie » édition Fernand Nathan , Paris.

Vinet.J.(2000) « Contribution à la modélisation thermo -aéraulique du microclimat urbain .Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs ». Thèse de doctorat de l'Université de Nantes 246p . Ecole d'architecture de Nantes le 27/11/2000 **.**

Sites Internet

Urba –gloss ,1995 , Global climate change -fr (Consulté le20 /01/2004)

www.atmosphére.mpg.de (consulté le12/06/2005)

Milanvoye M (2004), Le ambiances thermiques,www.cnam/Ergonomie.htmm (consulté

le20/07/2005)

www. Marseille .archi.fr (consulté le21/04/2005)

www-energie.arch.ucl.ac.be (Consulté le 12 /10/2004)

www.exposition universelle Séville 92(Consulté le 11 /03/2005)

yahoo .fr. .origine du mot cour
origine du mot hortus htm.yahoo.fr) (Consulté le 15 /10/2004)

(www.inecula.ouvre.yahoo.)fr(Consulté le 02 /01/2005)

Source :Piras E1998 http://lesowww.epfl.ch/master.html (Consulté le 12 /06/2005)

:
http://www.isma-arlon.be/plan/plan.htm(Consulté le 19 /11/2004)

Autres documents

Encarta, 2003

Encyclopédie du XX éme siècle en 06 tommes Paris 1917

Le quotidien d'Oran , 2004 du 25/12/2004 N°4253

Carte de la ville de Constantine

ONRS 1983

Revue technique et architecture « Architecture climatique » N° 354 juin-juillet 1984

Hachette (2001) . « Grand dictionnaire Larousse » édition Dunod Paris 2001

Liste des figures

Chapitre 01 :

FIG.1.1- Zones climatiques dans le monde …… 13
Fig1.2- Bilan radiatif terrestre …… 17
Fig : 1.7– Zone de surchauffe de la ville de Constantine …… 20
Fig : 1.8 Durée d'insolation en heures de la ville de Constantine …… 21
Fig : 1.8 nébulosité en octas de la ville de Constantine …… 23
FIG.1.10- Influence de l'eau sur le microclimat …… 24
Fig :1.11-Influence de la topographie sur le microclimat …… 26
Fig :1.12-Influence de la densité urbaine sur le microclimat …… 29
Fig :1.13-Ilot de chaleur urbain …… 30

Chapitre 02 :

Fig.2.1 : -Résistance thermique des habits …… 38
Fig 2.2 : - Héméothermie de l'homme …… 40
Fig 2.3 : - Echanges thermiques entre l'homme et son environnement…… 44
Fig 2.4 : - Correspondance entre le PMV et le PPD …… 50

Chapitre 03 :

Fig :3.1 Décomposition du rayonnement solaire…… 54
Fig :3.2 Les coordonnées solaires…… 55
Fig :3.3 Effet de dièdre…… 59
Fig. :3.4 Effet du canyon…… 60
Fig. :3.5 Rôle de la géométrie des surfaces dans les échanges radiatifs ……. 60
Fig :3.6 Espace couvert par la végétation …… 61
Fig :3.7 Tissu compact à Marrakech …… 62
Fig :3.8 Formes bâties choisies pour l'évaluation de la radiation solaire…….. 64
Fig :3.9 Ilot et immeuble en gradins de Sauvage H.1928……... 67
Fig :3.10 Dispositifs de contrôle architectural Lam WMC ,1986……... 68

Chapitre 04 :

Fig :4.1 L'atrium romain dans un édifice public …… 72
Fig: 4.2 Cour Ramsès III à Louqsor lieu Karnak …… 72
Fig : 4.3 Différentes cours à l'époque romaine …….. 73
Fig : 4.4 Cour au Vatican …… 74
Fig : 4.5 Contraste de lumière dans la cour (lycée j j rousseau) …….. 77

Fig :4.5 Cour du parlement européen à Strasbourg 81
Fig : 4.6 Cour du pentagone(ministère de la défense américaine) 81
Fig : 4.7 Siège de la mairie de Nantes 82
Fig. :4.8 Cour du lycée Arago 82
Fig : 4.9 Cour d'une université jean Moulin Lyon 83
fig. : 4.10Cour des 'orangers' grande mosquée de 'Cordoue' en Espagne 83
fig. : 4.11Cour dans un lycée 'Dorian' en France 84
fig. :4.12 Cour d'une école primaire 84
fig. :4.13 Cour d'une école primaire 84
Fig :4.14 La cour des « Myrtes » 85
Fig. :4.15Cour d'honneur de la bibliothèque 85
Fig. :4.16Cour du siége de la (B.C.E.E) 86
Fig :4.17 Cour rectangulaire ouverte 87
Fig :4.18 Cour rectangulaire 88
Fig :4.19 Cour trapézoïdale 88
Fig :4.20 Cour rectangulaire 88
Fig :4.21 Cour de forme irrégulière 89
Fig :4.22 Cour de forme triangulaire 89
Fig 4.23 Cours de l'hôpital 89
Fig :4.24 Cour 02 de l'hôpital 90
Fig :4.25 Cour 01 école d'architecture 90
Fig4.26 : Cour ouverte 90

Chapitre 05 :

Fig :5.1 - Échanges au niveau des parois opaques..... 98
Fig :5.2 - Échanges au niveau du sol..... 99
Fig : 5.3 Échanges radiatives au niveau de la cour par rayonnement et convection..... 99
Fig : 5.4- Echanges radiatifs entre surfaces 100
Fig : 5.5 Rayonnement solaire reçu le21 décembre à12h00..... 101
Fig : 5.6 Angle définissant le ratio..... 104
Fig : 5.7 Proportions des cours étudiées..... 104
Fig : 5.8 Comportement de la cour base la nuit 105
Fig : 5 .9 Énergie incidente plan vertical –Ouest..... 107
Fig.: 5.10 Énergie incidente plan vertical – sud..... 107
Fig.: 5.11 Énergie incidente sur le plan vertical..... 107
FIG.:5.12 Énergie incidente sur le plan horizontal 107
Fig :5.13 Effet de la taille sur les échanges de l'énergie dans la cour..... 108
Fig :5.14 Les ratios définissant les paramètres géométriques de la cour..... 109
Fig :5.15 Effet du changement de R1 et R2 sur l'énergie reçue en hiver 110
Fig :5.16 Effet du changement de R1 et R2 Sur l'énergie reçue en été..... 111
Fig :5.17 Effet de l'introduction d'un auvent sur la façade sud..... 111
Fig : 5.18Une cour à l'Alhambra eau et végétation symbole de fraîcheur et détente..... 114
Fig : 5.19Coefficient de transmission d'un arbre en été et en hiver 114

Fig :5.20 Différents types d'arbres……. 115
Fig: 5.21 Division de la densité du rayonnement solaire reçu par un feuillage ….116
Fig :5.22 Température de surface d'un arbre prise par thermographie …… 118
Fig :5.23 Brumisateurs à l'exposition universelle de Séville 1992 ……. 120
Fig :5.24 Transfert thermique d'un bassin d'eau ……... 121
Fig :5.25 Les effets d'échanges entre les parties froides et l'air d'une fontaine.. 122
Fig :5.26 dispositifs de régulation thermiques utilisés lors de l'exposition universelle de Séville 1992 ……... 123
Fig :5.27 absorption de la radiation solaire par la pelouse approximités ……. 126

Chapitre 06 :

Fig : 6.1 Cour triangulée finement …… 130
Fig: 6.2 Création d'un ciel dans Solene …… 134
Fig : 6.3 Voûte céleste modélisée…… 135
Fig :6.4 Facteur de forme entre deux surfaces…… 136
Fig :6.5 : Facteur de forme entre deux contours …… 137
Fig : 6.6 Ensemble de faces d'un arbre modélisé…….. 138
Fig : 6.7 simulation de l'énergie solaire directe dans Solene…… 142
Fig : 6.8 Étapes de calcul des températures de surface…… 143
Fig : 6.9 Bonhomme confort modélisé…….. 144

Chapitre 07 :

Fig :7.1 Les formes de base des cours à simuler …… 149
Fig : 7.2- Le lever et le coucher le21juin calculés par le logiciel …… 151
Fig : 7.3- le lever et le coucher le 21 décembre calculés par le logiciel …….. 151
Fig.7.4- températures de l'air en (°C) le 21 juin …… 152
Fig.7.5-Température de l'air le 21décembre …….. 152
Fig : 7.6- différentes orientations cour rectangulaire 1/3 à12h00 l'hiver ……154
Fig : 7.7- différentes orientations de la cour rectangulaire 1/3à14h00 l'été ……...154
Fig : 7.8 Energie solaire directe incidente orientation NS le 21 juin ……155
FIG: 7.9 Energie solaire incidente en w/m² orientation EO le 21 juin ……. 155
Fig : 7.10 Energie solaire incidente5 w/m² orientation NE/SO le 21 juin ……156
Fig : 7.11 Energie solaire incidente en w/m² orientation EO le 21 décembre ….. 156
Fig : 7.12 Energie solaire directe incidente en w/m² orientation NS le 21 décembre ……156
Fig :7.13Energies directe incidente en w/m² orientation NE/SO le 21décembre ..157
Fig : 7.14 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS le21 juin …….. 161
Fig : 7.15 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NE.SO le21 juin … 161
Fig : 7.16 Température de surface en (°C) orientation NS le21 juin ……162
Fig : 7.17 Température de surface en (°C) orientation EO le21 juin ……162
Fig : 7.18 flux solaire net absorbés par le sol en w /m² pour les trois orientations le 21 juin ……163
Fig : 7.19 Températures de surface le 21 juin …… 164
Fig : 7.20 Température de surface du sol en (°C) pour les trois orientations le 21 juin …… 164

Fig : 7.21 Températures de surface le 21 décembre …… 165
Fig : 7.22 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS
le21 décembre …… 165
Fig : 7.23 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NS le21 décembre. 166
Fig : 7.24 flux solaires absorbés nets en (w/m²) orientation NE.SO
le21 décembre …… 166
Fig :7.25 Température de surface orientation EO 21 décembre …… 167
Fig :7.26 Température de surface orientation NS 21 décembre …… 167
Fig :7.27-flux solaires nets absorbés par le sol en w /m² pour les
trois orientations 21decembre …… 168
Fig : 7.28température de surface du sol en (°C) pour les
trois orientations le 21 décembre ……168
Fig :7.29 température de surface en (°C) le 21 juin orientation EO …… 171
Fig :7.30 température de surface du sol en (°C) le 21 juin orientation NE.SO …. 171
Fig :7.31 température de surface du sol en (°C) le 21juin orientation EO ……. 172
Fig :7.32 température de surface du sol en (°C) le 21 décembre
orientation NE.SO……172
Fig : 7.33 Température de surface cour carrée 3/3 en (°C)EO et NS
pour le 21 juin…… 173
Fig : 7.34 Température de surface en (°C)cour carrée EO et NS
le 21 décembre…… 174
Fig : 7.35 Température de surface en (°C) orientation cour2/3 EO le 21 juin ….. 174
Fig : 7.36 Température de surface en (°C) orientation NE.SO le 21 juin …….. 175
Fig :7.37 températures de surface en (°C) pour les trois formes le21 juin …… 175
Fig :7.38 Températures de surface du sol en (°C) orientation NE.SO le 21 juin ..176
Fig :7.39 Flux solaire net en W/m² orientation NE.SO le 21juin …….. 176
Fig :7.40 Températures de surface du sol en (°C) orientation NS
le21 décembre ……177
Fig :7.41 Températures de surface du sol en (°C) orientation NE.SO
le21 décembre …… 177
Fig :7.42 Flux solaire net en W/m² orientation N.S le 21décembre …….. 178
Fig :7.43 flux solaires nets en(W/m²) orientation EO le 21décembre ……...178
Fig :7.44 :Cours ouverte orientation NS …….. 179
Fig :7.45 température de surface cour ouverte cote sud …… 179
Fig : 7.46 Flux solaires nets (W/m²)cour ouverte coté sud le 21juin …… 180
Fig : 7.47 Flux solaire net en (W/m²) cour ouverte coté nord le 21juin …… 180
Fig : 7.48 Température de surface en (°C) cour ouverte coté nord le 21 juin ….. 181
Fig :7.49 Flux solaires absorbes nets en W/m² pour les quatre
orientations le 21juin …… 181
Fig : 7.50 Températures de surface en (°C) le 21 décembre
Cour ouverte coté Nord …… 182
Fig : 7.51 Températures de surface en (°C) le 21 décembre
Cour ouverte coté sud ……183
Fig :7.52 Taille des cours simulées …….. 184
Fig. :7.53 températures de surface en (°C) orientation EO le 21 juin …… 185
Fig. :7.54 Flux solaires nets absorbes en (w/m²) orientation EO le 21 juin …… 185
Fig. :7.55 températures de surface en (°C) orientation EO le 21décembre ……. 186
Fig. :7.56 Flux solaires nets absorbes en (w/m²) orientation EO
le 21decembre…… 186

Fig : 7.57-Orientation EO ……... 188
Fig :7.58 orientation NE.SO…… 188
Fig :7.59 agencement des arbres Cas(1) et Cas (2) orientation NS le 21 juin … 190
Fig :7.60 agencement des arbres Cas(1) et Cas (2) orientation EO le 21 juin … 190
Fig :7.61 effet de l'ensoleillement à 14H le 21 décembre …….. ……. 191
Fig :7.62 transmission à travers la couronne végétale le21 juin ……. 192

Liste des tableaux

Chapitre 02

Tableau 1 -Les échelles du PMV…….. 50

Chapitre 03

Tableau 3.1 : conditions de la simulation …… 65
Tableau 3.2 :Comparaison de la radiation directe (annuelle)pour trois dispositions donnée en TJ …… 65

Chapitre 04

Tableau 4.1- classement des édifices publics à cours dans la ville de Constantine…….. 91

Chapitre 05

Tableau 5.1-Températures du pavage minéral et des pelouses…… 119

Chapitre 07

Tableau : 7.1 propriétés physiques et thermiques des matériaux ……150

Tableau :7.2 Durée d'ensoleillement en minutes orientation NS …… 157

Tableau :7.3 Durée d'ensoleillement en minutes orientation NE.SO …..…… 158
Tableau :7.4 Durée d'ensoleillement en minutes orientation E.O …… 158
Tableau :7.5 dimensions et hauteurs des cours simulées…….. 170
Tableau :7.6 Températures de surfaces pour le deux cas ……..…….. 189
Tableau :7.7 Températures de surfaces avec transmission végétale Cour2/3 orientation NS ……..…… 192
Tableau :7.8 Température radiante en (°C) pour les cinq cas orientation EO … 195
Tableau :7.9 Taux de sueur régulatrice en g /h pour les cinq cas Orientation EO ……... 196